

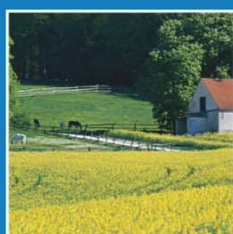
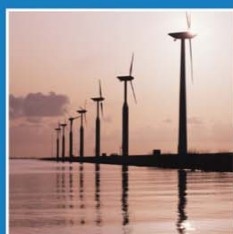
Prof. Dr. Peter Hennicke
Dr. Kora Kristof
Ulrike Dorner

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Ressourcensicherheit und Ressourceneffizienz – Wege aus der Rohstoffkrise

Policy Paper zu Arbeitspaket 7 des Projekts
„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)

Ressourceneffizienz Paper 7.3



Wuppertal, April 2009

ISSN 1867-0237

Kontakt zu den Autor(inn)en:

Dr. Kora Kristof

Prof. Dr. Peter Hennicke

Ulrike Dorner

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH
42103 Wuppertal, Döppersberg 19

Tel.: +49 (0) 202 2492 -183, Fax: -198

Mail: kora.kristof@wupperinst.org

Paper zu Arbeitspaket 7 des Projekts

„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRess)

*„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“
(MaRess) – Projekt im Auftrag des BMU I UBA*

Projektlaufzeit: 07/2007 – 12/2010

Projektleitung:

Dr. Kora Kristof / Prof. Dr. Peter Hennicke

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH
42103 Wuppertal, Döppersberg 19

Tel.: +49 (0) 202 2492 -183 / -136, Fax: -198 / -145

Mail: kora.kristof@wupperinst.org

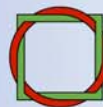
peter.hennicke@wupperinst.org

© Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Weitere Informationen zum Projekt

„Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRess)

finden Sie unter **www.ressourcen.wupperinst.org**



Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

**Wuppertal Institut
in Kooperation mit**

BASF

Borderstep

CSCP

Daimler

demea – VDI / VDE-IT

ECN

EFA NRW

FhG IAO

FhG UMSICHT

FU Berlin

GoYa!

GWS

Hochschule Pforzheim

IFEU

Institut für Verbraucherjournalismus

IÖW

IZT

MediaCompany

Ökopol

RWTH Aachen

SRH Hochschule Calw

Stiftung Warentest

ThyssenKrupp

Trifolium

TU Berlin

TU Darmstadt

TU Dresden

Universität Kassel

Universität Lüneburg

ZEW

Gefördert wird das Vorhaben im Rahmen des UFOPLAN
durch das BMU und das UBA, Förderkennzeichen: 3707 93 300

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung
liegt bei den Autor(inn)en.



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

**Umwelt
Bundes
Amt** 
Für Mensch und Umwelt

Ressourcensicherheit und Ressourceneffizienz – Wege aus der Rohstoffkrise

Inhaltsverzeichnis

1	Ressourcensicherheit: Risiken der Verfügbarkeit und Grenzen des Wachstums	3
2	Positionen und Triebkräfte in der Debatte um die Rohstoffsicherheit	5
2.1	Positionen relevanter Akteure zu Rohstoffsicherheit und -politik	5
2.2	Determinanten von globalem Rohstoffangebot und -nachfrage	7
2.3	Preisentwicklung	10
2.4	Bedeutung der Materialkosten für Industrie und Volkswirtschaft	12
2.5	Rohstoffsicherheit und „kritische Rohstoffe“	14
2.5.1	Kriterien für „Kritische Rohstoffe“ nach der RWI-Studie	17
2.5.2	Risiko-Rating des Instituts der deutschen Wirtschaft	19
2.5.3	„Kritikalitätskriterien“ nach dem National Research Council	20
2.5.4	Umweltrelevante, seltene Metalle nach dem Projekt „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRess)	21
2.5.5	Zuspitzung geopolitischer und internationaler Konflikte in „Ressourcenkriegen“	23
2.5.6	Technologische Perspektiven	23
3	Ressourceneffizienz und Ressourcensicherheit	25
3.1	Ohne Ressourceneffizienz wird es keine Rohstoffsicherheit geben	25
3.2	Ressourceneffizienzsteigerung: Szenarien zeigen Win-Win-Situation	25

3.3	Wie Ressourceneffizienzsteigerungen strategisch umgesetzt werden können _____	26
3.3.1	Ansatzpunkt Produktlebenszyklus _____	27
3.3.2	Ansatzpunkt Wertschöpfungskette _____	30
3.3.3	Ansatzpunkt Veränderung in den Köpfen _____	30
4	Schlussfolgerungen für die Politik _____	31
5	Literatur _____	34

Abbildungen

Abb. 1:	Pro-Kopf-Metallverbrauch im 20. Jahrhundert _____	9
Abb. 2:	Realpreisentwicklung und Rohstoffproduktion von Aluminium und Kupfer _____	11
Abb. 3:	Entwicklung des Anteils der Material- und Lohnkosten im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland in Prozent _____	13
Abb. 4:	Überblick über die Produktivitätsentwicklung der Produktionsfaktoren Arbeit, Material und Energie _____	14
Abb. 5:	„Kritische Rohstoffe“ nach dem National Research Council _____	20

Tabellen

Tab. 1:	Erste Schätzungen zu Einsparpotentialen in ausgewählten Branchen _____	12
Tab. 2:	Förderung und Reichweite für Reserven und Ressourcen _____	16
Tab. 3:	Rohstoffe mit hohen Nettoimportwerten in Deutschland im Jahr 2005 _____	18
Tab. 4:	Rohstoff-Rating des Instituts der deutschen Wirtschaft _____	19
Tab. 5:	Optionen zur Ressourceneffizienzsteigerung im Überblick _____	27

1 Ressourcensicherheit: Risiken der Verfügbarkeit und Grenzen des Wachstums

Seit einigen Jahren haben Fragen der Ressourcensicherheit, Importabhängigkeit und Ressourceneffizienz einen enormen Bedeutungszuwachs in der Industrie und auch in der Politik erfahren. Seit 2005 hat z.B. der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) auf nationalen Rohstoffkonferenzen „die angespannte Lage auf den Rohstoff-Weltmärkten“ (BDI 2007) und mögliche Maßnahmen zu Erhöhung der Ressourcensicherheit thematisiert. Die deutsche Bundesregierung hat im Juli 2008 eine „Zwischenbilanz der Rohstoffaktivitäten der Bundesregierung“ (Bundesregierung 2008) gezogen und die Rohstoffpolitik als „klassische Querschnittsaufgabe“ einer Vielzahl von Ressorts charakterisiert – von der Wirtschafts- und Umweltpolitik bis zur Außen- und Entwicklungspolitik.

Hintergrund dieser Debatte war das stärkste Weltwirtschaftswachstum seit 30 Jahren (vor allem das starke Wachstum in China) und in der Folge dramatische Preissteigerungen auf den meisten Rohstoffmärkten. Aus deutscher Perspektive wurde dabei deutlich, dass nicht nur Mengen- und Preisentwicklungen auf den Öl- und Gasmärkten, sondern etwa auch bei metallischen Rohstoffen für den Wirtschaftsstandort von strategischer Bedeutung sind.

Deutschland verfügt über ausreichende Ressourcenvorräte bei wichtigen Rohstoffen wie Salz, Kali, Sand, Kies, Braun- und Steinkohle, ist aber bei anderen zentralen Rohstoffen wie Metallen, Öl, Gas und Uran sehr stark von Importen abhängig („Achillesferse der deutschen Wirtschaft“; IW 2008). Vergleichbar hohe Importabhängigkeiten gelten auch für zahlreiche andere Länder in der EU aber auch weltweit.

Generell muss bei den fossilen Energien sowie bei allen nicht-energetischen Rohstoffen die Frage der Verfügbarkeit auch im Zusammenhang mit der Senkenproblematik diskutiert werden. Wegen der Klimaproblematik steht bei der Energieverwendung derzeit immer weniger das Problem der begrenzten Verfügbarkeit der Energieträger im Zentrum, sondern zunehmend die Aufnahmefähigkeit der Senken (Atmosphäre, Ökosysteme, Ozeane) für CO₂ und andere Treibhausgas, die zum entscheidend limitierenden Faktor geworden ist. Selbst wenn, wie bei der Kohle, die Ressourcen noch für Jahrhunderte ausreichen, darf das darin gebundene CO₂ nicht bei der Verbrennung an die Atmosphäre abgegeben werden, um den Klimawandel nicht irreversibel und dramatisch zu beschleunigen. Ob die Abscheidung und Deponierung von CO₂ (Carbon Capture and Storage / CCS) eine tragfähige und wirtschaftliche Option sein kann, um die Begrenzung der Senken zu mildern, ist noch unklar. Auch für nicht-energetische, abiotische Rohstoffe existieren bei einer steigenden Weltbevölkerung nicht nur am Ende des Produktlebens sich zuspitzende Senkenprobleme (z.B. Verknappung von Deponieflächen, Schadstoffeintrag in Ökosysteme; Young 1993; Carpenter 2005). Hinzu kommt, dass die steigende Ausbeutung und Nutzung von Rohstoffen über die gesamte

Wertschöpfungskette – von der Gewinnung, über die Verarbeitung und Nutzung bis zur Entsorgung – teilweise massive ökologische und soziale Folgeprobleme nach sich zieht. Eine „Dematerialisierung“ (Schmidt-Bleek 1998) der Produktions- und Technosphäre über eine **Reduktion der Rohstoffinputs** durch neue Technologien und durch nachhaltigere Produktions- und Konsummuster ist daher auch für die Senken- und Umweltproblematik ein entscheidender Lösungsansatz. In Politik und Wirtschaft beherrschen trotzdem vor allem die Fragen der begrenzten Verfügbarkeit von Rohstoffen die Diskussion.

Insbesondere vor dem Hintergrund der vorübergehend starken Übernachfrage und sprunghaften Preissteigerungen auf den Rohstoffmärkten bis etwa Mitte 2008 haben sowohl die Grundsatzfrage nach den „Grenzen des Wachstums“ (Meadows 1972) als auch die Diskussionen über geeignete Gegenstrategien und die Perspektiven der Rohstoffmärkte (wieder) eine neue Aktualität erhalten. Zwar hat die Dramatik und unerwartete Wucht der globalen Weltfinanz- und Wirtschaftskrise sowie der damit einhergehende Nachfragerückgang und Preisverfall bei allen Rohstoffen Fragen nach der Rohstoffsicherheit vorübergehend wieder in den Hintergrund gedrängt. Die meisten Expert/-innen gehen jedoch – vor allem wegen der Preis- und Kostenrisiken, aber auch wegen der hohen Materialkostenanteile im verarbeitenden Gewerbe – davon aus, dass weiterhin vorsorgende und proaktive Strategien notwendig sind. Gerade in der Krise sind Kostensenkungen ein entscheidender Wettbewerbsfaktor und vor allem in ressourcenimportabhängigen Ländern wie Deutschland ist es dabei wirtschafts- und sozialpolitisch sinnvoller, Kosten zu senken, indem man „Tonnen und Kilowattstunden arbeitslos macht und nicht Menschen“. Außerdem ist absehbar, dass die Rohstofffrage bei wieder anziehender Weltkonjunktur erneut in aller Schärfe auf die Agenda kommen wird (McKinsey Global Institut 2009).

Dieses Papier folgt dieser Einschätzung, geht dabei aber einen Schritt weiter und thematisiert den in wirtschaftlicher, ökologischer und geopolitischer Hinsicht besonders bedeutsamen Beitrag der Steigerung der Ressourceneffizienz: Die Analyse der Problemsichten und Maßnahmenvorschläge zentraler Akteure aus Wirtschaft und Politik zeigt nämlich, dass bisher zahlreiche kurz- und mittelfristig notwendige, aber langfristig nicht hinreichende Maßnahmenbündel konzipiert werden. Eine langfristig Erfolg versprechende Strategie, so die Argumentation dieses Papiers, muss vielmehr die Fragen der globalen Rohstoffsicherheit mit nationalen Aktivitäten zur Steigerung der Ressourceneffizienz besser verbinden. Die forcierte Steigerung der Ressourceneffizienz, und zwar die **absolute Entkopplung** von Lebensqualität und Naturverbrauch auf nationaler und globaler Ebene, ist auf lange Sicht **das entscheidende Strategieelement** einer zukunftsfähigen Rohstoffpolitik. Diese These gilt auch dann, wenn es einen allgemeinen „Peak of Resources“ (wie absehbar bei Öl; vgl. IEA 2008) in absehbarer Zeit nicht geben wird, obwohl sich bei einigen strategisch bedeutsamen Rohstoffen eine zunehmende Knappheit abzeichnet (Angerer et al. 2009) – mit großen wirtschaftlichen Risiken.

Das Papier zeigt, dass durch die Steigerung der Ressourceneffizienz die nationale Versorgungssicherheit **und gleichzeitig** die Wettbewerbsfähigkeit des Standorts

Deutschland stärker gefördert werden kann als durch andere bislang vorrangig diskutierte Maßnahmen. Denn die Steigerung der Ressourceneffizienz verbindet ökologische Notwendigkeiten und ökonomische Chancen. Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz und zur Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Naturverbrauch sind nicht nur vorsorgende ökologische Modernisierungsschritte zur Eindämmung säkularer Klima- und Rohstoffkrisen. Solche Maßnahmenbündel sind – intelligent konzipiert – auch potentielle Bausteine, um Innovationen und Investitionen eine nachhaltigere Richtung zu geben und um durch investive Multiplikatoreffekte zur Konjunkturstabilisierung und Beschäftigungssicherung beizutragen (Kristof / Hennicke 2008). Ziel des Papiers ist es daher, die Diskussion über Rohstoffsicherheit mit Strategievorschlägen zur Steigerung der Ressourceneffizienz zu verbinden.

Ausgangspunkte der Argumentation des Papiers in Kapitel 2 sind

- die Darstellung und kritische Bewertung wichtiger Positionen in der derzeitigen Debatte um die Rohstoffsicherheit,
- die Analyse der Rahmenbedingungen für eine wirksame Ressourcenpolitik durch die Ressourcennachfrage, die Preisentwicklung und die Wirkung auf die Kostenstrukturen sowie
- die unterschiedlichen Facetten der Debatte zur Rohstoffsicherheit und ihre Verbindung zur Ressourceneffizienz.

Kapitel 2 und 3 schlagen die Brücke von Ressourceneffizienz und Rohstoffsicherheit und zeigen, dass mehr Rohstoffsicherheit ohne Ressourceneffizienzsteigerung nicht erreicht werden kann. Ressourceneffizienz ist nicht nur eine Option, absehbare globale Knappheitsprobleme zu entschärfen, sondern kann auch ökonomische Konfliktlagen wie Nachfrageüberhänge, Preissteigerungen/-fluktuationen und Kostensenkungsnotwendigkeiten adressieren. In Kapitel 3 wird darauf eingegangen, wie Ressourceneffizienzsteigerungen strategisch umgesetzt werden können. Kapitel 4 schließt damit, welche unterstützenden Rollen die Politik und ressortübergreifende Kernstrategien bei der Verbindung von Ressourceneffizienz und Rohstoffsicherheit spielen können.

2 Positionen und Triebkräfte in der Debatte um die Rohstoffsicherheit

2.1 Positionen relevanter Akteure zu Rohstoffsicherheit und -politik

Europa importiert etwa zwei Drittel (physische Menge) seiner Rohstoffe aus Ländern außerhalb von Europa (Schütz / Moll / Bringezu 2003). Deutschland ist bei metallischen Primärrohstoffen zu 100 Prozent von Importen abhängig. Besorgte Fragen bei Wirtschaft und Politik nach der „Rohstoffsicherheit“ und teilweise kontroverse Diskussionen über mögliche Maßnahmen haben – besonders nach dem steilen Preisanstieg nach 2005 – zugenommen.

Die dramatisch gestiegenen Rohstoffpreise bis Mitte 2008 weckten bei der deutschen Industrie Befürchtungen (BDI 2007; IW 2008) hinsichtlich eines Versorgungsengpasses, dessen Ursache sie teilweise in der internationalen Politik sieht („Politik verursacht Engpässe“; IW 2008). Obwohl die Rohstoffversorgung „in erster Linie als Sache der Unternehmen“ (IW 2008) angesehen wird, fordert der BDI gleichzeitig die nationale Politik auf, in einer ressortübergreifenden Rohstoffpolitik für freie internationale Rohstoffmärkte (Wirtschaftsvereinigung Stahl 2006) und faire Wettbewerbsbedingungen zu sorgen.

Die deutsche Bundesregierung (2008) geht auf diese Forderungen der Industrie in ihrer Zwischenbilanz der Rohstoffaktivitäten ein. Internationale Handelshemmnisse und Wettbewerbsverzerrungen sollen durch eine multi- und bilaterale Handelspolitik und durch die Stärkung rohstoffpolitischer Ansätze in der Entwicklungspolitik abgebaut werden. Die Rückwärtsintegration der deutschen rohstoffverarbeitenden Industrie im Ausland zielt in dieselbe Richtung (Zugangssicherung). Unternehmerische Maßnahmen wie Joint Ventures, Terminkontrakte oder langfristige Lieferverträge sollen durch Instrumente wie einen privatwirtschaftlich getragenen Fond für Bergbauprojekte im Ausland gefördert werden. Auch die Neuauflage der Explorationsförderung wird aktuell im Interministeriellen Ausschuss „Rohstoffe“ und im BDI-Fachausschuss „Rohstoffpolitik“ debattiert.

Eine weitere Handlungsoption zur deutschen Rohstoffsicherung (Bundesregierung 2008; BMWi 2005) ist die Förderung des heimischen Rohstoffabbaus. Deutsche Rohstoffpotentiale sollen wieder verstärkt genutzt und hierfür geeignete politische Rahmenbedingungen (z.B. Neufassung des Raumordnungsgesetzes) geschaffen werden. Die Rohstoffhaussse der letzten Jahre führte bereits zur Prüfung einer wirtschaftlichen Gewinnung des deutschen Kupferschiefers und von Gold (Liedtke / Vasters 2008; Elsner 2009). Die Förderung des heimischen Bergbaus als Option für eine nachhaltige Lösung zur Rohstoffabsicherung ist nur auf den ersten Blick ein geeigneter Lösungsansatz. Die deutsche Importabhängigkeit könnte dadurch zwar reduziert werden, global betrachtet handelt es sich aber lediglich um eine Verlagerung des Bergbaus und damit um eine Problemverschiebung und weniger um eine Problemlösung.

Eine weitere politische Maßnahme zur Schaffung fairer Rahmenbedingungen im internationalen Rohstoffmarkt ist die Unterstützung der Extractive Industries Transparency Initiative (EITI) durch die Bundesregierung. Sie hat das Ziel, mehr Transparenz zu staatlichen Einnahmeflüssen im Rohstoffbereich zu bieten und Korruption zu unterbinden. Dies geschieht durch Zertifizierungsinitiativen (z.B. Kimberly Process), die in Zukunft auch für mineralische Rohstoffe implementiert werden sollen. In Deutschland führte die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ein Zertifizierungs-Pilotprojekt im Auftrag des BMWi durch (BGR 2007), das sich im Wesentlichen auf den Kleinbergbau konzentriert.

Die von der Industrie prognostizierten „drohenden Knappheiten“ (IW 2008) bei Rohstoffen ursächlich nur unzureichenden wirtschaftspolitischen Maßnahmen zuzuschreiben, erfasst die Debatte um die Rohstoffsicherheit nur unzureichend. Die Forderung nach privilegierten Zugang zu den internationalen Rohstoffquellen dient der besseren Posi-

tionierung im Konkurrenzkampf um Rohstoffe, hinsichtlich der komplexen globalen Verfügbarkeits- und Versorgungssicherheitsdebatte greift sie allerdings zu kurz. Die angesprochenen markt- und handelspolitischen Instrumente sind zwar wichtig zur nationalen Rohstoffabsicherung. Im Hinblick auf einen global nachhaltigen und integrierten Lösungsansatz im Umgang mit endlichen Ressourcen reichen die oft nur kurz- oder mittelfristigen Maßnahmen allerdings nicht aus. Preisgetriebene Verknappungs- und Zugangsbefürchtungen der deutschen Industrie beziehen sich vor allem auf den ökonomischen und physischen **nationalen** Verfügbarkeitsaspekt. Da andere Großverbraucherländer in der OECD und aufstrebende Schwellenländer wie China mit ähnlichen Strategien auf dem Weltmarkt operieren, wird die Konkurrenz und das latente Konfliktpotential dadurch nicht begrenzt, sondern eher verschärft.

Der langfristig zielführende Ansatz zu mehr nationaler **und** internationaler Rohstoffsicherheit setzt dagegen bei den rohstoff- und kostenintensiven Wirtschaftsstrukturen an. Denn große Potentiale, die Importabhängigkeit von Rohstoffen zu senken und gleichzeitig einen wichtigen Beitrag zur nationalen und internationalen vorsorgenden Rohstoffsicherheit zu leisten, liegen im sparsamen Einsatz von Rohstoffen (Matthes / Ziesing 2005). In diesem Sinn unterstützt die Bundesregierung in ihrer Zwischenbilanz (Bundesregierung 2008) eine Erhöhung der Materialeffizienz und der Recyclinganteile sowie die Erschließung von Substitutionsmöglichkeiten durch verschiedene Forschungsprojekte und Programme (z.B. Netzwerk Ressourceneffizienz). Auch der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen wird als Handlungsoption betrachtet. Die bisherigen Lösungsansätze in Richtung Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz gehen jedoch noch nicht weit genug. Es fehlt an der forcierten Umsetzung konkreter Lösungsansätze und wirksamer Kernstrategien für global aber auch national ansetzende Maßnahmen zum Ressourcenschutz und zur Ressourceneffizienzsteigerung. Um hierfür das Problemverständnis und Umsetzungsansätze zu entwickeln, ist die folgende kritische Bilanzierung der einzelnen Determinanten der globalen Rohstoffversorgung notwendig.

2.2 Determinanten von globalem Rohstoffangebot und -nachfrage

Die scheinbar einfache Frage nach den Determinanten der globalen Nachfrage und des Angebots nach Rohstoffen erweist sich bei näherer Betrachtung als äußerst komplex. Wie bei allen Produkten regelt sich auch bei Rohstoffen der Marktpreis prinzipiell durch Angebot und Nachfrage. Die langfristige Nachfrage hängt insbesondere vom Wirtschaftswachstum und der Entwicklung der Rohstoffproduktivität (Bruttoinlandprodukt pro Rohstoffeinsatz) ab. Wie gerade die jüngste Vergangenheit gezeigt hat, sind kurz- und mittelfristig auch spekulative Elemente bei der Nachfrage und damit auch für die Preisbildung für Rohstoffe von besonderer Bedeutung. Die Entwicklung der gesamtwirtschaftlichen Rohstoffproduktivität wiederum speist sich aus einem Struktureffekt (z.B. einem Strukturwandel zu weniger rohstoffintensiven Branchen) und einem spezifischen Effizienzeffekt (z.B. weniger oder anderer Rohstoffeinsatz in Produktionsprozessen, pro Produkt / Dienstleistung oder pro Gebäudenutzfläche).

Der Effizienzeffekt ist für eine gezielte Rohstoffpolitik auf der Nachfrageseite bei Unternehmen, öffentlicher Hand und Verbrauchern von besonderer Bedeutung. Eine indirekte makroökonomische Steuerung des Strukturwandels und des Wirtschaftswachstum ist nur langfristig und mit einem umfassenden Instrumentenmix möglich. Dies gilt für die nationale und noch mehr für die globale Ebene. Dagegen bilden Anreize und Maßnahmenpakete für eine Ressourceneffizienzsteigerung auf Ebene der Produkte, Produktionsprozesse und Branchen eine vergleichsweise überschaubare und vor allem national steuerbare Strategie.

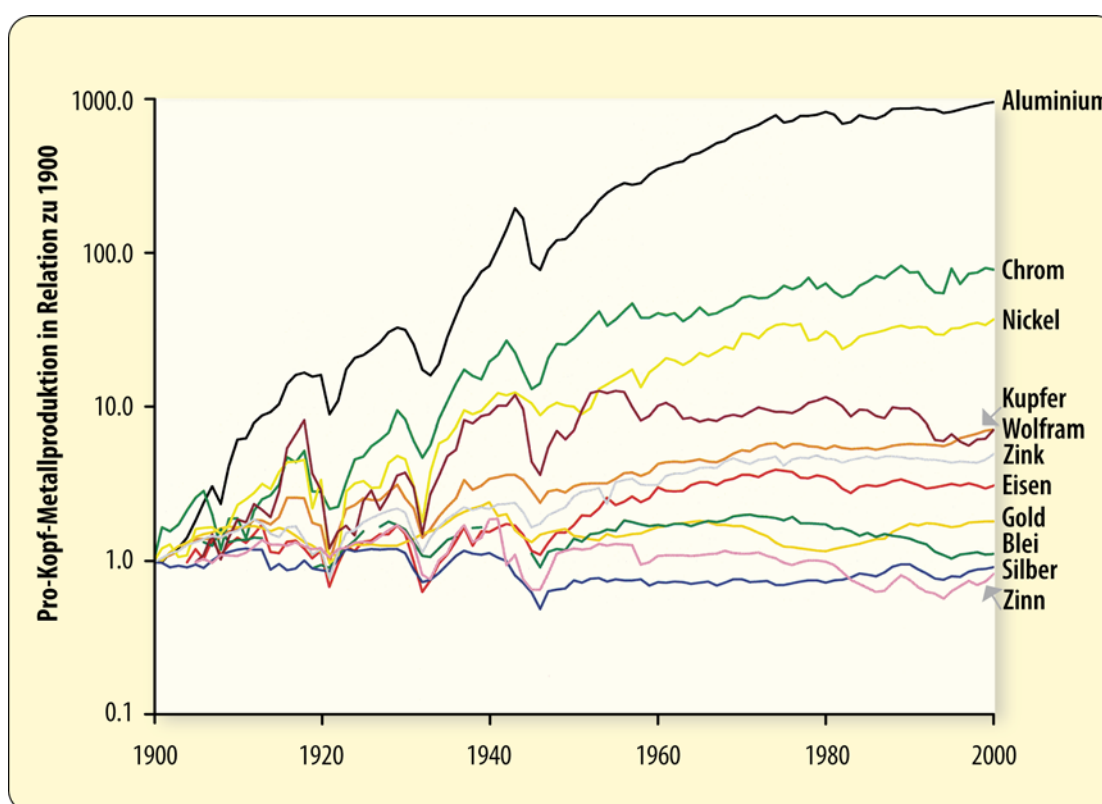
Dies gilt in besonderem Maß auch für schnell wachsende bevölkerungsreiche Länder wie China oder Indien. Für diese Länder besteht – noch dringlicher als für die OECD-Länder – ein ökologischer und ökonomischer Imperativ zur Steigerung der Ressourceneffizienz, weil sonst die Ressourcenfrage zum entscheidenden Engpassfaktor für eine nachhaltige Entwicklung – nicht nur hinsichtlich der Umweltqualität – wird. Der schnelle Aufbau der Produktionskapazitäten und Infrastrukturen bietet nämlich die Möglichkeit, ressourceneffiziente Lösungen bereits zu Beginn der wirtschaftlichen „Take off“-Phase einzusetzen. Durch die Nutzung der aktuell jeweils besten verfügbaren Technologien können diese Länder mit Entwicklungssprüngen („leapfrogging“) den Aufbau unnötig ressourcenintensiver Strukturen vermeiden. Werden diese „Windows of Opportunities“ nicht genutzt, werden sich die globale Ressourcenproblematik, aber auch die Entwicklungshemmnisse für diese Ländern dramatisch verschärfen. Diese Wechselwirkung von globalem Rohstoffhunger und der Notwendigkeit, „grüne“ und Ressourceneffizienztechnologie-Märkte zu erschließen, zeigt der enorme Anteil Chinas am weltweiten Verbrauch ausgewählter Metalle. Bei Aluminium, Blei, Eisen, Zink und Zinn liegt er derzeit bereits über 30 Prozent, bei Kupfer und Nickel über 20 Prozent (BGR 2008). Dies bietet aber auch Chancen für „problemlösende“ Märkte (Lehner / Schmidt-Bleek 1999) – die Perspektiven eines gigantischen Weltmarkts für **GreenTech** und auch besondere Exportchancen für die deutsche Industrie werden sichtbar (vgl. BMU 2007).

Die historische Dimension der Rohstofffrage wird im längerfristigen Rückblick noch deutlicher. Abb. 1 zeigt den **Zuwachs pro Kopf** während des 20. Jahrhunderts bei der Nutzung von so bedeutenden Metallen wie z.B. Aluminium, Chrom und Nickel. Vom Jahr 1900 bis zum Jahr 2000 ist die Weltbevölkerung von 1,65 auf 6,06 Milliarden gestiegen. Das weltweite Sozialprodukt stieg im Zeitraum von 1965 bis 2000 mit einer jährlichen Zuwachsrate von durchschnittlich 3,8 Prozent. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts werden etwa 9 Milliarden Menschen auf der Erde leben und das Weltsozialprodukt könnte sich bereits bis 2050 gegenüber dem heutigen Stand verdoppeln. Insofern ist es unmöglich, die bisherigen steigenden Pro-Kopf-Trends bei der Nutzung von Metallen und anderen Rohstoffen in die Zukunft zu verlängern.

Die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ (Enquete Kommission 1998) hat in Anlehnung an Herman Daly (Daly 1999) folgende grundsätzliche Managementregel formuliert: „Nicht-erneuerbare Ressourcen sollen nur in dem Umfang genutzt werden, in dem ein physisch und funktionell gleichwertiger Ersatz in Form erneuerbarer Ressourcen oder höherer Produktivität der erneuerbaren sowie der nicht-

erneuerbaren Ressourcen geschaffen wird". Von der Einhaltung dieser für die intergenerationelle Gerechtigkeit elementaren Managementregel ist die Menschheit beispielsweise bei Metallen noch weit entfernt. Auch das Vorsorgeprinzip spricht dafür, die Ausbeutung und Nutzung von Rohstoffen auf ein nachhaltiges Maß zu begrenzen. Dies gilt nicht nur wegen der prinzipiellen Erschöpfbarkeit nicht erneuerbarer Ressourcen und wegen des Klimawandels, sondern generell auch wegen anderer problematischer direkter und indirekter Umweltauswirkungen eines steigenden Ressourcenverbrauchs (z.B. Verlust an Biodiversität, Treibhausgase und andere Emissionen, Giftstoffe, Erosion, Wüstenbildung) und wegen sozialer und wirtschaftlicher Probleme (z.B. Kinderarbeit, Nahrungsmittelknappheit durch Flächenkonkurrenzen).

Abb. 1: Pro-Kopf-Metallverbrauch im 20. Jahrhundert



Quelle: National Research Council 2008

Zusammenfassend zeigt sich das Grundproblem, das allen Detailfragen über Rohstoffsicherheit und Ressourcenverfügbarkeit vorgelagert ist: Es betrifft die Frage, in welchem Umfang nicht erneuerbare Ressourcen bei einer auf 9 Milliarden anwachsenden Weltbevölkerung und steigendem Pro-Kopf-Einkommen (vor allem in den Entwicklungs- und Schwellenländer) noch verfügbar sein werden und ob die Tragfähigkeit der Erde („die Senken“) ausreichen wird, um die Emissionen (z.B. klimawirksame Gase, Abfälle) aus der Technosphäre aufzunehmen.

Steigen die Bevölkerung und die Pro-Kopf-Einkommen weiter, so ist die Steigerung der Ressourceneffizienz und eine langfristige Strategie zur **Reduktion**, d.h. absolute Senkung der Pro-Kopf-Verbräuche, in den Industrieländern und der **Konvergenz**, d.h. Annäherung an diese reduzierten Pro-Kopf-Verbräuche in den Entwicklungs- und Schwellenländern dafür eine „Conditio sine qua non“. Diese Erkenntnis begründet eine langfristige und vorausschauende Rohstoffpolitik, die zwar auf akute Preissteigerungswellen (wie bis Mitte 2008) reagieren, aber auch über diese hinaus denken muss.

2.3 Preisentwicklung

Der in der breiten Öffentlichkeit wohl entscheidende Hintergrund für eine „gefühlte“ allgemeine Verknappung von Rohstoffen ist die Preisentwicklung der letzten Jahre. Hohe aktuelle nominelle Preise lösen zu Recht Besorgnis aus, mitunter aber auch einen kurzatmigen Aktionismus, der nicht zur Lösung der skizzierten langfristigen Grundsatzproblematik beiträgt. Es bedarf daher einer sorgfältigen Analyse der Ursachen und Verlaufsformen der Preisentwicklung von Rohstoffen. Auch diese Analyse führt auf die These zurück, dass **ressourcensparsames Produzieren und Konsumieren** langfristig die beste Präventionspolitik gegenüber Preisschocks darstellt, da der daraus resultierende Kosteneffekt durch die Mengenreduktion kleiner wird.

Die Einschätzungen über zukünftige Preisentwicklungen werden in der öffentlichen Meinung und bei Expertenprognosen durch mittelfristige Trends aus der Vergangenheit und aktuelle Entwicklungen beeinflusst. Das gilt auch für die Rohstoffpreisentwicklung seit 2000, die insbesondere wegen des exorbitanten Preissprungs bei Öl von etwa 27 US-Dollar pro Barrel im Jahr 2000 auf nahezu 150 US-Dollar pro Barrel im Juli 2008 heftige Diskussionen über eine mögliche physische Verknappung („Peak of Oil“) und über weitere (reale) Preissteigerung ausgelöst hat.

Wegen der globalen Finanz- und Wirtschaftskrise und infolge des Zusammenbruchs spekulativer Preisbewegungen sind die Preise aller Rohstoffe etwa ab Mitte 2008 wieder drastisch gefallen. Inzwischen rechnet Morgan Stanley – der weltweit größte Akteur im Rohstoffhandel – im Jahresdurchschnitt 2009 nur noch mit einem Ölpreis von 35 US-Dollar pro Barrel (Stanzl 2009). Aufgrund dieser von niemandem vorhergesehenen exorbitanten Ölpreisschwankungen rechnen Studien auch für die weitere Zukunft mit einer großen Schwankungsbreite. So hält z.B. eine Studie im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums (www.germanhy.de) für das Jahr 2030 einen Rohölpreis zwischen 54 bis 248 US-Dollar pro Barrel für möglich.

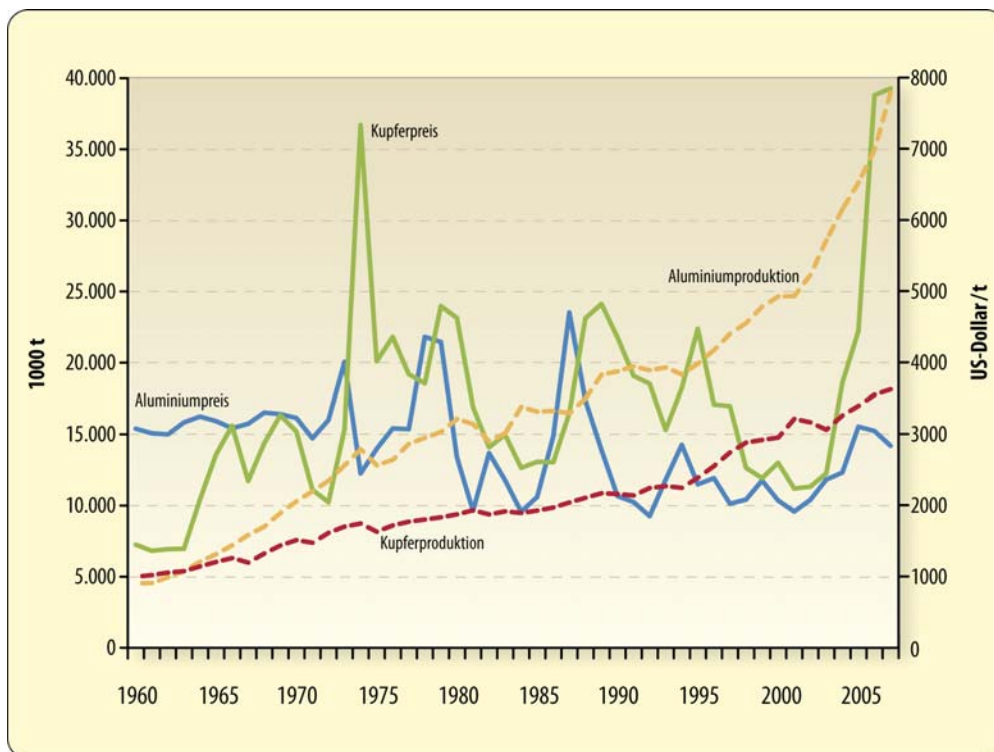
Die Preise der nicht-energetischen Rohstoffe folgten zwischen 2000 bis 2007/2008 in etwa dem Muster der Energiepreise, allerdings im Durchschnitt mit geringeren Ausschlägen. Insbesondere ab 2005 setzte bei bedeutsamen Rohstoffen (z.B. bei Nickel und Zink) ein dramatischer Preisanstieg ein, der aber teilweise bereits im Jahr 2007 – früher als beim Öl – in einen ebenso rapiden Preisverfall überging. Zwischen den Jahren 2000 bis 2007/2008 haben sich die Preise für Aluminium mehr als verdoppelt, die für Kupfer, Zinn und Zink mehr als vervierfacht sowie für Nickel mehr als verfünffacht – um dann 2007/2008 bei Aluminium, Nickel und Zink wieder rapide zurück auf etwa das

Preisniveau des Jahres 2000 abzusinken (vgl. London Metal Exchange 2009). In die Entwicklung der Gesamtkonjunktur sind auch die Märkte für Sekundärrohstoffe eingebettet. Wie bei den Primärrohstoffen gab es ab Mitte 2008 einen deutlichen Preiserückgang (zum Beispiel für Metallschrotte, Altpapier und Altkunststoffe) – nach bis dahin noch unbekannten Preishöchstständen.

Für den Euro-Raum gilt, dass die auf US-Dollar-Basis fakturierten nominalen Rohstoffpreissteigerungen durch den Anstieg des Wechselkurses des Euro gegenüber dem US-Dollar erheblich gedämpft wurden. So stieg der Wechselkurs des Euro gegenüber dem US-Dollar vom Jahr 2000 bis 2/2009 von 0,84 auf 1,27 US-Dollar pro Euro.

Für den längerfristigen Zeitraum eines halben Jahrhunderts – von 1960 bis 2005 – trifft im übrigen die häufig vermutete ständige Verteuerung von Rohstoffen bisher nur auf die **nominalen** Preise zu. Die inflationsbereinigten **realen** Preise sind jedoch in vielen Fällen bei erheblich steigender Förderung und starken Preisschwankungen in diesem langen Zeitraum tendenziell eher gesunken. Dies gilt zum Beispiel für Kupfer und für Aluminium (vgl. Abb. 2).

Abb. 2: Realpreisentwicklung und Rohstoffproduktion von Aluminium und Kupfer



Quelle: BGR

Wichtige nominale Rohstoffpreise (z.B. Kupfer, Aluminium, Nickel, Zink, Blei) zeigten außerdem bisher – etwa in einem Zehnjahresrhythmus – ein wannenförmiges Verlaufsmuster, das Ökonom/-innen mit der Analogie zum „Schweinezyklus“ erklären: die

Förderung und Produktion von Rohstoffen reagieren mit einer Zeitverzögerung von mehreren Jahren auf hohe Preise in Phasen der Übernachfrage. Hohe Rohstoffpreise führen zu einer verstärkten Exploration und Erschließung von neuen Reserven und damit zu einem steigenden Angebot und sinkenden Preisen, die einen erneuten Nachfrageschub auslösen.

Angeichts der wirkmächtigen globalen Triebkräfte des Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums ist es jedoch eine offene Frage, ob und wie lange sich die bisherigen Preisentwicklungsmuster fortsetzen oder ob real steigende Preise zu erwarten sind.

2.4 Bedeutung der Materialkosten für Industrie und Volkswirtschaft

Zwischen 2002 und 2006 sind die gesamten Materialkosten im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland von rund 577 auf 754 Milliarden Euro gestiegen (Statistisches Bundesamt 2008b). Welcher Anteil davon wirtschaftlich durch Ressourceneffizienzsteigerungen einzusparen ist, ist die zentrale Frage.

ADL / Wuppertal Institut / FhG-ISI (2005) haben erste Schätzungen einfach realisierbarer Ressourceneffizienzsteigerungspotentiale für ausgewählte Branchen ermittelt. Tab. 1 zeigt als Ergebnis für fünf ausgewählte Branchen ein innerhalb von 7 Jahren wirtschaftlich erschließbares Einsparpotential zwischen insgesamt 5 und 11 Milliarden Euro pro Jahr. Die Deutsche Materialeffizienzagentur (demea) schätzt, dass insgesamt in der deutschen Volkswirtschaft mindestens 100 Milliarden Euro Materialkosten eingespart werden können (demea 2009). Diese Potentiale können zusätzlich zum Trend realisiert werden.

Tab. 1: Erste Schätzungen zu Einsparpotentialen in ausgewählten Branchen

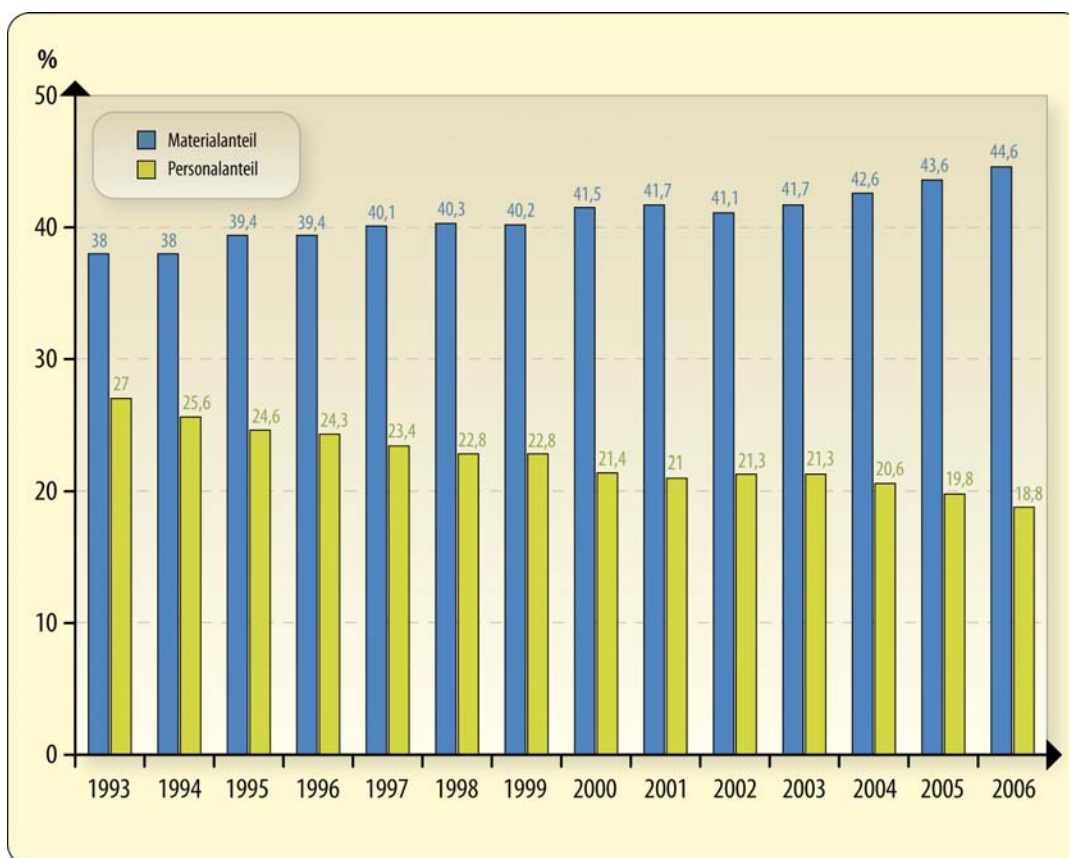
Branche	Materialeinsatz in Milliarden Euro in 2002	Materialeinsparpotential in Milliarden Euro pro Jahr
Herstellung von Metallerzeugnissen	18,6	0,8 – 1,5
Herstellung von Kunststoffwaren	10,8	1,0 – 2,0
Herstellung von Geräten der Elektrizitätserzeugung, -verteilung	10,2	1,5 – 3,0
Chemische Industrie (ohne Grundstoffindustrie)	11,1	1,8 – 3,4
Baugewerbe: Hochbau und Ausbaugewerbe	11,1	0,2 – 1,2
Gesamt (autonomes und induziertes Potential)	61,8	5,3 – 11,1

Quelle: ADL / Wuppertal Institut / FhG-ISI 2005

Wie Abb. 3 zeigt, ist der **durchschnittliche Kostenanteil für Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe** (im Jahr 2006 knapp 45 Prozent) im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland traditionell nicht nur etwa doppelt so hoch wie der Kostenanteil für Löhne (2006

bei knapp 19 Prozent), sondern er ist sogar tendenziell angestiegen. Im Vergleich dazu lagen die durchschnittlichen Energiekostenanteile mit ca. 2 Prozent deutlich darunter. Es ist daher auf den ersten Blick erstaunlich, dass in der betrieblichen Realität vor allem über die Höhe und Entwicklung der Lohnkosten gestritten wird, obwohl eine Senkung der Materialkosten in ressourcenimportabhängigen Ländern wie Deutschland konfliktfreier und sozialverträglicher wäre, Innovationen unterstützen, die Vulnerabilität gegenüber externen Rohstoffpreisschüben verringern und generell die Wettbewerbsfähigkeit erhöhen würde.

Abb. 3: Entwicklung des Anteils der Material- und Lohnkosten im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland in Prozent

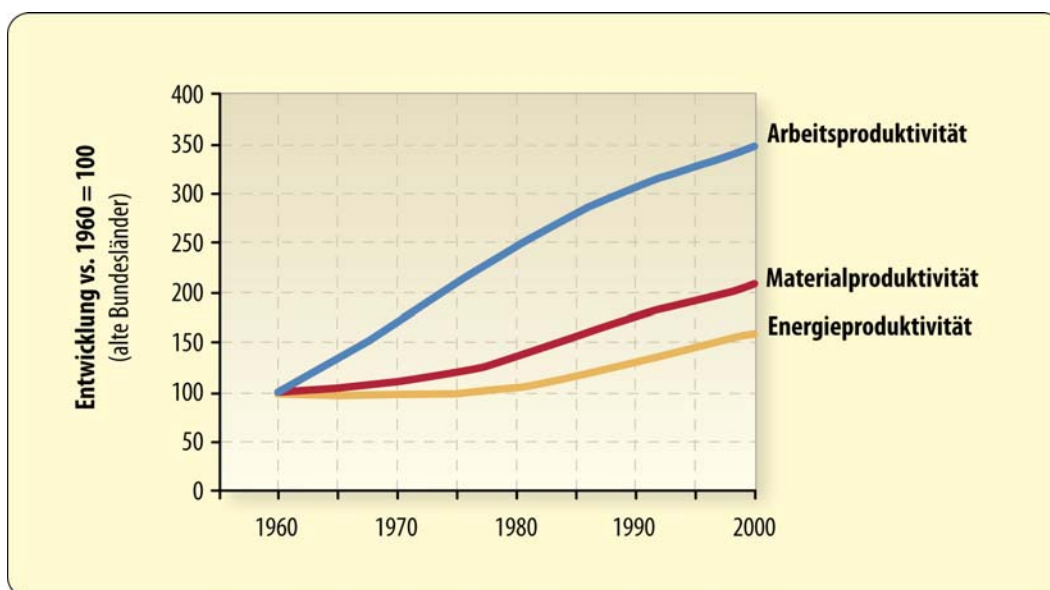


Quelle: Statistisches Bundesamt 2008a

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht müsste es also – vor allem in Phasen stark steigender Rohstoffpreise wie zwischen 2000 bis 2008 – einen deutlichen marktinduzierten Anreiz geben, ressourcensparenden Technologien und ökoeffizienten Innovationen Priorität einzuräumen. Warum dies nicht in dem Umfang Realität ist, wie es die ökonomische Theorie nahe legt, hängt mit Marktversagen und einer Vielzahl von Umsetzungshemmnissen (z.B. Wahrnehmungsprobleme, Informations- und Qualifikationsmängel, Risikoaversion, Kapitalmangel, fehlende Lebenszykluskostenanalyse / Ressourcenkostenrechnungen; Jochem 2004) und mit den relativen Preisen für Arbeit und

Rohstoffen zusammen. In Relation zum Faktor Arbeit sind die Preise vieler Rohstoffe in der Vergangenheit stark gesunken (RWI 2005, 29). Diese **relative Verbilligung von Rohstoffen** (inkl. Energie) erklärt auch zum Teil, warum die Arbeitsproduktivität seit vielen Jahrzehnten schneller gestiegen ist als die Energie- und Materialproduktivität (vgl. Abb. 4). Populär formuliert bedeutet dies, dass für die Wirtschaft bisher höhere autonome Marktanreize für einen Strukturwandel und eine Form des technischen Fortschritts (Rationalisierungsinvestitionen) bestanden haben, vorwiegend „Menschen statt Tonnen und Kilowattstunden freizusetzen“.

Abb. 4: Überblick über die Produktivitätsentwicklung der Produktionsfaktoren Arbeit, Material und Energie



Quelle: Statistisches Bundesamt 2008b

Es stellt sich daher aus sozialen, aber auch aus ökologischen und ökonomischen Gründen die Frage, ob und wie der technische Fortschritt zukünftig verstärkt **arbeit-schaffend und ressourcenschonend** gestaltet werden kann. Szenarien und betriebliche Praxisbeispiele zeigen, dass die bestehenden Hemmnisse abgebaut und die ausgesprochene „Win-Win-Charakteristik“ einer Strategie zur Steigerung der Ressourceneffizienz zur Geltung gebracht werden können (vgl. Kapitel 3).

2.5 Rohstoffsicherheit und „kritische Rohstoffe“

Die Risiken der Ressourcenversorgung sind neben der Nachfrageentwicklung, den hohen gesamtwirtschaftlichen Materialkostenanteilen und der Entwicklung der Ressourcenpreise ein weiterer wesentlicher Grund, warum eine zielorientierte Rohstoffpolitik vorsorgend ressourcenleichtere Produktions- und Konsummuster ansteuern sollte. Dies gilt auch dann, wenn wie zur Zeit infolge der Weltfinanz- und Wirtschaftskrise die

Rohstoffpreise vorübergehend sinken, obwohl autonome Marktanreize dann abgeschwächt werden.

Generell wäre es unangemessen, die langfristigen Trends einer sich zuspitzenden Ressourcenproblematik von den kurz- und mittelfristigen Aspekten der „Rohstoffsicherheit“ und Kostenbelastung zu trennen. Denn die Frage nach der „Rohstoffsicherheit“ ergibt schon heute bei differenzierter Betrachtung durchaus teilweise alarmierende Antworten. Die nachfolgende Analyse „kritischer“ Ressourcen zeigt, dass eine **vorsorgende Rohstoffpolitik durch eine Steigerung der Ressourceneffizienz** gerade wegen der unüberschaubaren Vielfalt, der „Kritikalität“ bedeutsamer Rohstoffinputs und absehbarer Versorgungsengpässe bei einigen strategisch wichtigen Rohstoffen als nationale und breitenwirksame **Basisstrategie** sehr bedeutsam ist. Die Analyse zeigt auch, dass es zu undifferenziert wäre, generell eine physische Verknappung bei spezifischen „kritischen“, nur schwer rezyklierbaren und kaum substituierbaren Rohstoffen mit dem Hinweis auf den technischen Fortschritt oder stets wirksame Marktanreize auszuschließen.

„Rohstoffsicherheit“ ist kein einheitlich definierter, zumeist (geo-)politisch verstandener Begriff. Absolute „Sicherheit“ im Sinne von unbegrenzter technischer, ökologischer und ökonomischer Verfügbarkeit kann es bei endlichen Ressourcen ohnehin nicht geben. Darüber hinaus gehen in das Verständnis von „Sicherheit“ subjektive individuelle oder kollektive Interessenslagen (z.B. von einzelnen Unternehmen über Branchen bis zu Ländern) ebenso ein wie ein Reihe objektiver „begrenzender“ Faktoren. In diesem Papier erfolgt eine Konzentration auf wesentliche in der Literatur gebräuchliche Kriterien für Rohstoffe, die mit der Konnotation „selten“, „kritisch“, „ökologisch bedenklich und damit begrenzt ökologisch verfügbar“ oder auch „begrenzt technisch verfügbar“ verbunden sind. Bei der Vielzahl der möglichen Einflussfaktoren ist es nicht erstaunlich, dass in der Literatur hierzu unterschiedliche Bewertungen vorliegen.

Abiotische Rohstoffe sind nicht erneuerbar sowie nicht überall und unbegrenzt ausbeutbar. Die primären Rohstoffquellen sind zwar endlich; viele Stoffe können aber zumindest teilweise und bei verfügbarer Technik durch Recycling in den Kreislauf zurückgeführt werden (sekundäre Rohstoffquellen, Urban Mining etc.). Ein gutes Beispiel hierfür sind Metalle, da sie nahezu unbegrenzt aber häufig unter erheblichen Energieeinsparungen im Kreislauf geführt werden können (UMSICHT 2008). Aber auch andere mineralische Stoffe, Kunststoffe und biogene Stoffe eignen sich für ein Recycling.

Für das physisch verfügbare Angebot wird in der Regel als erster Analyseschritt die **Unterscheidung von Reserven und Ressourcen** eingeführt. Ressourcen sind diejenigen Mengen der Rohstoffe, die nachgewiesen sind, deren Extraktion aber derzeit nicht unbedingt wirtschaftlich oder technisch realisiert werden kann. Reserven sind die Teilmengen der Ressourcen, die bei gegenwärtigen Preisen wirtschaftlich gewinnbar sind (RWI 2005).

Die **statische Reichweite** (d.h. das Verhältnis von Reserven und konstanter Förderung) ist nur bedingt als Knappheitsindikator geeignet. Der Umfang der Reserven kann sich z.B. bei steigenden Preisen oder neuen Fördertechniken ausweiten, dann ist al-

lenfalls die Annäherung der Reserven an die Ressourcen ein Indiz für eine mögliche Verknappungstendenz. Oder das Wachstum der Weltbevölkerung und der Wirtschaft führen zu steigender Nachfrage und höheren Preisen, die wiederum – zumeist mit einer Zeitverzögerung von mehreren Jahren – eine höhere Förderung induzieren kann. Insofern ist es lediglich möglich, die Reichweite als „Signalanzeiger für die Notwendigkeit zur Wiederaufnahme oder Verstärkung von Explorationstätigkeit“ (RWI 2005, 13) zu interpretieren. Damit sind aber weder die Umweltauswirkungen einer verstärkten Rohstoffextraktion einbezogen noch die vielfachen sozialen, ökonomischen und geopolitischen Fragen in Hinblick auf Rohstoffsicherheit und Ressourcenverfügbarkeit beantwortet. Vor allem gerät aus dem Blick, mit welcher ungeheuren und in die Zukunft nicht verlängerbaren Dynamik der Pro-Kopf-Verbrauch wichtiger Rohstoffe schon bis heute angestiegen ist (vgl. Abb. 1).

Einigkeit besteht daher darin, dass der in der Öffentlichkeit wohl am meisten beachtete Indikator, die statische Reichweite, als **alleiniger** Maßstab für Rohstoffsicherheit und -verfügbarkeit wenig Aussagewert hat. Allenfalls über relative Knappheiten im Vergleich mehrerer Rohstoffe und als erste Stufe eines umfassenderen Screening lässt er gewisse Rückschlüsse zu.

Aussagefähiger für die **relative Verknappung** von Rohstoffen ist die Annäherung der statischen Reichweite der Reserven an die der Ressourcen. Tab. 2 zeigt z.B. die relativ geringe statische Reichweite für Reserven und Ressourcen (< 50 Jahre) für ausgesuchte Basismetalle (z.B. Zinn), Edelmetalle (z.B. Gold, Silber), Legierungs- und Elektronikmetalle (z.B. Antimon, Germanium und Indium). Im MaRes-Projekt werden aus 67 Metallen 20 Metalle mit einer statischen Reichweite unter 50 Jahren ausgewiesen (siehe Kapitel 2.5.4).

Tab. 2: Förderung und Reichweite für Reserven und Ressourcen

	Förderung	Reserven	Ressourcen	Reserven	Ressourcen
	in 1000 t			Reichweite in Jahren	
Antimon	113	1.800	> 3.900	16	> 35
Germanium	0,087	0,45	> 0,5	5	> 6
Gold	2,43	42	> 90	17	> 37
Indium	0,41	2,8	> 6	7	> 15
Silber	19,7	270	> 570	14	> 29
Zinn	260	6.100	> 11.000	23	> 42

Quelle: RWI 2005

Generell gilt für wesentliche Rohstoffe, dass die Reserven heute höher beziffert werden als sie Meadows (1972) geschätzt hatte. Die von Meadows unter der Annahme exponentiellen Wachstums (dynamische Reichweite) im Jahr 1972 berechneten geringen Reichweiten (von 21 Jahren und weniger, etwa für Kupfer, Blei, Zink, Zinn, Silber, Gold) werden deshalb heute – mehr als 30 Jahre nach Meadows Bericht an den Club

of Rome – teilweise als erheblich größer angegeben. Dies schmälert aber nicht die Pionierleistung und die Wirkung von Meadows, als erster Wissenschaftler den grundsätzlichen Widerspruch zwischen exponentiellem rohstoffintensivem Wirtschaftswachstum und der Endlichkeit sowie einer latenten „Versorgungsunsicherheit“ bei nicht erneuerbaren Ressourcen weltweit verdeutlicht zu haben. Zweifellos ist es auch notwendig, bei der Bewertung von Reichweiten und bei der Beurteilung von vermuteten physischen Knappheiten von Rohstoffen auf die ökonomisch-technischen Optionen der „Streckung“ der Verfügbarkeit von Primärrohstoffen durch effizientere Nutzung, Substitution durch weniger knappe Rohstoffe, Recycling und generell auf technische Innovationen (z.B. neue Materialien) hinzuweisen.

Welche Rohstoffe beispielsweise aus deutscher Sicht gegenwärtig als „kritisch“ einzuschätzen sind, wird in der Literatur nach unterschiedlichen Kriterien beurteilt. Zentrale Ansätze dazu werden in den folgenden Unterkapiteln vorgestellt.

2.5.1 Kriterien für „Kritische Rohstoffe“ nach der RWI-Studie

Nach RWI (2005) sind für die Bewertung der „Kritikalität“ von Rohstoffen drei Kriterien zentral:

- der gesamtwirtschaftliche Ausgabenanteil bzw. der Wert des Nettoimports,
- die Konzentration der Förderung auf bestimmte Länder und
- das politische und wirtschaftliche Risiko der Förderländer.

Der **gesamtwirtschaftliche Ausgabenanteil** bzw. der **Nettoimportwert** eines Rohstoffs ist für die Frage der Verwundbarkeit durch externe Preisschocks oder Lieferengpässen sowie für die Wettbewerbsfähigkeit und Standortqualität bedeutsam. Tab. 3 zeigen die größten deutschen Rohstoffimporte bis zu einem Nettoimportwert von 200 Millionen Euro für das Jahr 2005 (RWI 2005, 35). Neben den herausragenden Öl- und Erdgasimporten sind auch Kupfer und Aluminium (Bauxit) in makroökonomischer Hinsicht bedeutsame Importgüter. Wegen der Aufwertung des Euro gegenüber dem US-Dollar konnte der Euro-Raum die teilweise exorbitanten Steigerungen der Weltmarktrohstoffpreise in US-Dollar teilweise kompensieren. Am wertmäßigen Anteil der deutschen Rohstoffimporte für das Jahr 2006 haben die Energierohstoffe einen Anteil von 70 Prozent. Wegen der starken Weltnachfrage aus den Schwellenländern (vor allem China) und der resultierenden Preissprünge stiegen die Importwerte aller Rohstoffe in Deutschland – Energie, Metalle, Nichtmetalle – von 62 Milliarden Euro (2004) auf 107 Milliarden Euro im Jahr 2006. Auch Matthes / Ziesing (2005) bezeichnen den Kostenanteil der Rohstoffe einer Volkswirtschaft als eine entscheidende Orientierungsgröße für die Versorgungssicherheit und sehen insbesondere auch Potentiale, durch einen sparsamen Einsatz von Rohstoffen die Importabhängigkeit zu senken.

Es leuchtet ein, dass eine **Konzentration der Förderländer** in Bezug auf einzelne Rohstoffe das Risiko von Versorgungsengpässen (aus technischen, sozioökonomischen oder auch aus politischen Gründen) oder der Kartellpreisbildung erhöht. Als „unkritisch“ bewertet die RWI-Studie (2005) eine Länderkonzentration mit einem Herfin-

dahlindex unter 0,15. Dieser Wert würde sich in etwa ergeben, wenn 7 Länder jeweils nur ein Siebtel der Weltförderung bereitstellen würden. Der Herfindahlindex H wird als Summe der quadratischen Anteile s definiert, den die jeweiligen Förderländer an der Gesamtförderung haben, also $H = (s_1)^2 + (s_2)^2 + \dots + (s_n)^2$. Je größer der Index ist, desto „kritischer“ ist die Konzentration auf wenige Länder. Bei Leukoxen ist die Förderung auf ein Land (Herfindahlindex von 1), bei Silimanit (0,98) oder auch Cyanit (0,81) auf sehr wenige Länder konzentriert. Aber auch z.B. bei Andalusit, Niob, Magnesium, Germanium, Chrom, Vanadium, Palladium, Rhenium und Rutil liegt der Index noch bei 0,3 und mehr. Für Deutschland sind immerhin 25 importierte Rohstoffe „mit hoher Länderkonzentration der Förderung“ relevant, die den Wert von 0,15 teilweise erheblich überschreiten (RWI 2005).

Tab. 3: Rohstoffe mit hohen Nettoimportwerten in Deutschland im Jahr 2005

Nettoimportwert in 1.000 Euro	
Erdöl	24.631.807
Erdgas	10.400.237
Kupfer	2.179.122
Aluminium (Bauxit)	2.033.471
Steinkohle	1.642.293
Nickel	976.210
Eisen	826.781
Molybdän	348.114
Chrom	277.080
Mangan	274.306
Zink	272.942
Silizium	211.362

Quelle: RWI 2005

Eine hohe Förderländerkonzentration gewinnt dann besonders an Bedeutung, wenn das **politische und wirtschaftliche Risiko** in den beteiligten Länder als besonders hoch eingeschätzt wird. RWI (2005) bewerten das Risiko von Förderländern mit dem ungewichteten Mittel der Länderwerte aus fünf Indikatoren der Weltbank: erstens die Kontrolle von Korruption, zweitens die politische Stabilität und Kriminalität, drittens die Effektivität der Behörden, viertens der Grad der Bürokratie und fünftens die Rechtsstaatlichkeit.

Nach RWI (2005) ergibt die Zusammenschau aller drei Kriterien für Deutschland immerhin 12 bis 16 potentiell risikoreiche Importrohstoffe, darunter Kupfer, Aluminium (Bauxit), Molybdän, Chrom, Zink und Zinn mit erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung (gemessen an Nettoimportwerten über 100 Millionen Euro pro Jahr). Aber auch Tantal (mit Zuwächsen von 224 Prozent zwischen 1996 bis 2005, vor allem durch die Elektronikindustrie; Bardt 2008, 31) oder Platin (wegen eines potentiellen Nachfragesprungs durch Brennstoffzellen) werden als potentiell „kritisch“ eingeschätzt.

2.5.2 Risiko-Rating des Instituts der deutschen Wirtschaft

Teilweise übereinstimmende, teilweise aber auch erheblich abweichende Risikobewertungen ergeben sich beim Risiko-Rating des Instituts der deutschen Wirtschaft (IW; Bardt 2008). Dieses Risiko-Rating fußt auf den Kriterien „statische Reichweite“, „Konzentration auf Länderebene“, „Konzentration auf Unternehmensebene“ und „fehlende Substituierbarkeit“. Interessant ist, dass als „besonders kritisch“ die „Stoffe Chrom, Molybdän, Niob, Tantal und Zirkon sowie die Platingruppen-Metalle“ (Bardt 2008, 36; vgl. Tab. 4) eingestuft werden, darunter Metalle mit statischen Reichenweiten von über 100 Jahren (wie z.B. Chrom, Niob, Platingruppen-Metalle).

Tab. 4: Rohstoff-Rating des Instituts der deutschen Wirtschaft

„Kritische Rohstoffe“	Mindestreichweite der Vorkommen in Jahren	Konzentration der Vorkommen in Prozent auf drei ...		Ersetzbarkeit	Anwendungsbereiche
		... Länder	... Unternehmen		
Versorgungslage besonders „kritisch“					
Chrom	187	74 (Südafrika, Indien, Kasachstan)	53	nicht ersetzbar	Edelstahl, Chemie, Farben
Platingruppe	154	92 (Südafrika, Russland, Kanada)	73	nicht ersetzbar	Autoindustrie, Chemie, Schmuck, Medizintechnik, Brennstoffzellen
Niob	130	99 (Brasilien, Kanada, Australien)	80	schlecht ersetzbar	Edelstahl, Flugzeugturbinen
Molybdän	46	79 (USA, Chile, China)	49	nicht ersetzbar	Edelstahl, Farben, Schmierstoffe, Flugzeugbau, Katalysatoren, Elektronik
Zirkon	33	87 (Australien, Südafrika, USA)	62	teilweise nicht ersetzbar	Keramikglasuren, Gießereien, Chemie, Bildröhren
Tantal	29	84 (Australien, Mosambik, Brasilien)	68		Kondensatoren, Medizintechnik, chemische Apparate
Versorgungslage „kritisch“					
Lithium	228	79 (Chile, Australien, Argentinien)	58		Aluminiumverhüttung, Keramik, Glas, Batterien, Medizin, Chemie
Fluorit	44	76 (China, Mexiko, Mongolei)	keine Angaben	schlecht ersetzbar	Stahl- und Gusseisenerzeugung, Chemie, Emaille, Glasuren, Optik
Baryt	25	72 (China, Indien, USA)	keine Angaben		Schwerbeton, Füllstoff in Papier und Farbe, Chemie, Röntgenkontrastmittel

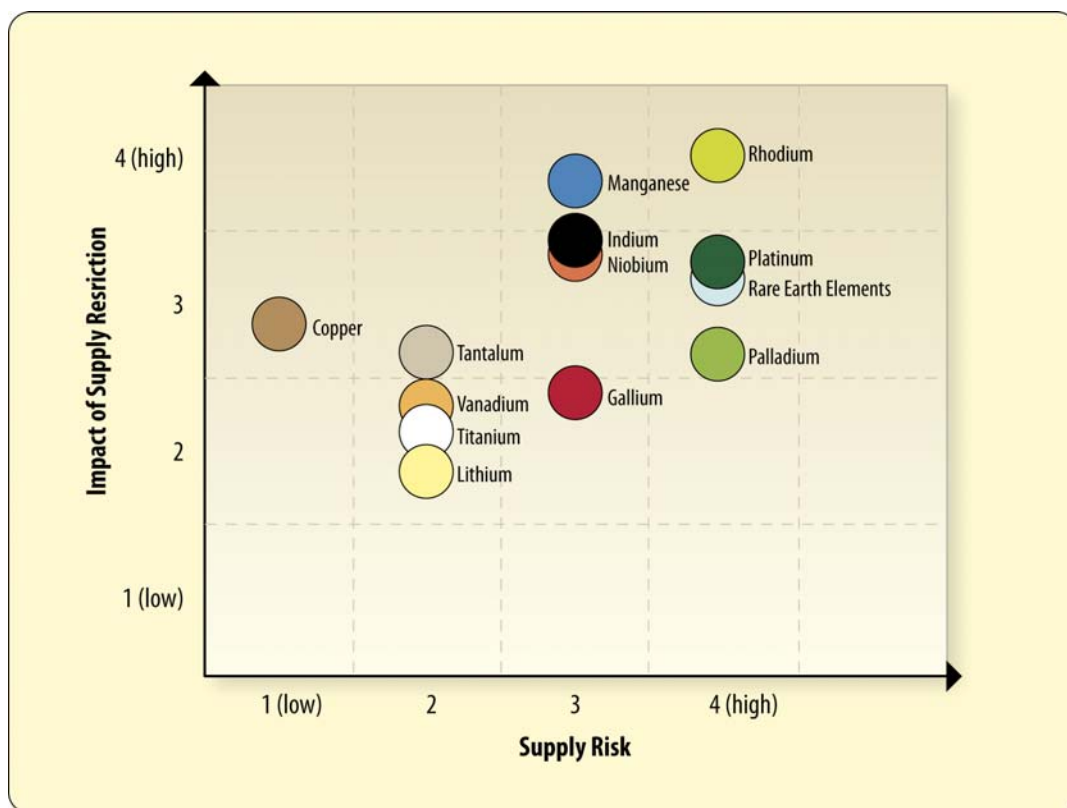
Quelle: IW 2008

Im Gegensatz zu RWI (2005), wo z.B. Zinn „unter Risikoaspekten am problematischsten“ erscheint (RWI 2005, 38), wird unter Verzicht auf eine politische Risikobewertung im Risiko-Rating des IW (Bardt 2008) Zinn trotz geringer statischer Reichweite (20 Jahre) und Konzentration der Förderung auf nur drei Länder – China, Indonesien und Peru – als „weniger kritisch“ eingestuft.

2.5.3 „Kritikalitätskriterien“ nach dem National Research Council

Noch deutlicher werden die Bewertungsunterschiede der „Kritikalität“ von Rohstoffen, wenn keine nationalen Kriterien, sondern zwei globale, aber sehr komplexe Kriterien berücksichtigt werden. So sollte nach dem National Research Council (2008) das globale Kriterium „Supply Risk“ die Verfügbarkeit („availability“) in geologischer, regulatorischer, sozialer, technischer, geopolitischer und marktrelevanter Hinsicht einbeziehen. Auch das Kriterium „Impacts of Supply Restriction“ sollte komplexe Auswirkungen wie „verhindert die Produktion“, „erschwert die Produktentwicklung“ oder auch „beeinflusst die Profitabilität“ berücksichtigen. Die Abb. 5 zeigt eine Auswahl von 11 Metallen innerhalb des Koordinatensystems von „Supply Risk“ und „Impact of Supply Restriction“. Platingruppen-Metalle (PGM) und die Seltene Erden Elemente werden in den Bereich mit besonders hoher „Kritikalität“ eingeordnet.

Abb. 5: „Kritische Rohstoffe“ nach dem National Research Council



Quelle: National Research Council 2008

Der Versuch, die „Kritikalität“ einzelner Rohstoffe zu bestimmen, stößt laut National Research Council (2008) auch generell an Grenzen, wenn es wie z.B. bei Informations-/Kommunikations-Technologien um immer komplexere Verbundprodukte mit einer Vielzahl von Rohstoffen geht. Das National Research Council (2008) weist darauf hin, dass Computer-Chips zum Beispiel in den 1980er Jahren mit 11 Elementen auskamen, in den 2000er Jahren aber bereits 45 und mehr Elemente des Periodischen Systems enthalten. Generell geht laut National Research Council (2008) die Tendenz dahin, dass die Industrie praktisch alle Elemente des Periodensystems in wachsendem Umfang nutzt, ohne dass der zukünftige Umfang der Verfügbarkeit vieler Elemente bekannt ist oder in allen Fällen geeignete Substitute verfügbar sind. Auch diese Tatsache zwingt dazu, die komplexen globalen Trends auf der Angebots- und Nachfrageseite bei nicht-energetischen Rohstoffen differenzierter zu untersuchen und umfassende „Kritikalitätskriterien“ für ein globales Frühwarnsystem zu entwickeln.

2.5.4 Umweltrelevante, seltene Metalle nach dem Projekt „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes)

Im MaRes-Projekt (<http://ressourcen.wupperinst.org>) wurden mittels eines aufwendigen Screenings 67 Metallen bewertet und besonders „umweltrelevante, seltene Metalle“ ermittelt (Wittmer / Scharp / Giegrich / Bringezu 2009). Dieses Metall-Ranking zielt darauf, von den „seltenen“, bisher kaum beachteten Metallen eine Auswahl von umweltrelevanten Metallen zu bestimmen – im Gegensatz zu anderen bisherigen Metall-Rankings, die häufig die Versorgungssicherheit im Blick haben. Hierfür wurden die „Umweltrelevanz“ und die dissipative Verwendung von Metallen untersucht und neben der statischen Reichweite als weitere wesentliche Kriterien herangezogen.

Der technische Fortschritt im Bergbau mit zunehmend effizienteren Abbau- und Gewinnungsmethoden hat in den vergangenen Jahrzehnten dazu geführt, dass Erze mit immer niedrigeren Metallgehalten wirtschaftlich abgebaut werden. Der technische Fortschritt beeinflusst somit kontinuierlich die als Reserven ausgewiesenen Rohstoffmengen und Lagerstätten. Gleichzeitig werden etwa durch den zunehmenden Abraum pro geförderter Tonne metallischer Rohstoff und den höheren Aufwand zur Extraktion die negativen Auswirkungen auf Natur und Gesellschaft erhöht.

Da eine Abschätzung der Umweltrelevanz auf Basis der Vielzahl einzelner Indikatoren sehr aufwendig ist, wurden als quantitativ messbare und in der Regel richtungssichere Kriterien der „Globale Materialaufwand“ („Total Material Requirement“ / TMR), der „Kumulierte Rohstoffaufwand“ (KRA) und der „Kumulierte Energieaufwand“ (KEA) herangezogen.

Eine „dissipative Verwendung“ ist aus Umweltsicht bedeutend, vor allem da sie in der Regel die Rezyklierbarkeit der Metalle vermindert. Eine dissipative Verwendung liegt dann vor, wenn ein Metall „feinverteilt“, d.h. ein Metall heterogen in verschiedenen Anwendungsbereichen und / oder Produkten eingesetzt wird. Bei Betrachtung des Einsatzes der Metalle auf Produktebene stellt man fest, dass in diesem Sinn zahlreiche Metalle eine deutlich dissipative Verwendung aufweisen, so z.B. in Elektronikgeräten.

Metalle sind aus metallurgischer Sicht zwar beliebig oft rezyklierbar; der technisch mögliche, ökonomisch und ökologisch vertretbare Grad des Recyclings hängt jedoch entscheidend von der Form des Einsatzes der Metalle ab. Metalle können in reiner Form, als Legierung, als Oxide oder in Form anderer Verbindungen sowohl in Produktionsanlagen und Infrastrukturen als auch in Endprodukten genutzt werden. Die dissipative Verwendung von Metallen führt in der Regel dazu, dass diese durch die aktuell etablierten Recyclinginfrastrukturen und -verfahren nicht ausreichend erfasst werden und somit der Technosphäre sukzessive verloren gehen. Hinzu kommt, dass beim Einsatz einiger Metalle Emissionen in die Umwelt gelangen (z.B. aus Beschichtungen) oder diese durch unerwünschte Vermischung mit anderen Metallen beim Recycling (Downcycling) an Qualität und Wert verlieren.

Der Vergleich der Metalle anhand der genannten Kriterien liefert als Ergebnis die Auswahl folgender 10 umweltrelevanter, „seltener“ Metalle, deren Stoffströme im MaRes-Projekt aktuell vertiefend untersucht werden: Gallium, Gold, Indium, Mangan, Nickel, Palladium, Silber, Titan, Zink und Zinn.

Anschließend werden für diese Metalle entlang des ganzen Lebenswegs Handlungsoptionen zur Minimierung der verursachten Umweltbelastungen und Materialverluste erarbeitet. Die Ergebnisse werden 2010 vorliegen.

Da mehr als zehn Metalle als umweltrelevant und „selten“ eingestuft werden können, der Übergang graduell ist und von der spezifischen Gewichtung der Schwerpunkte abhängt, sollten weitere Metalle in nachfolgenden Projekten untersucht werden. Zu diesem Zweck werden weitere zehn Metalle für künftige vertiefende Untersuchungen empfohlen.

Die ökologische Verfügbarkeit, d.h. die Begrenzung der Fördermöglichkeiten durch ökologische Probleme und die als Reaktion darauf erlassenen rechtlichen Rahmenbedingungen, hängt jeweils von der Existenz und Einhaltung nationaler Gesetze ab. Die ökologische Verfügbarkeit wird aber auch – neben der Wirksamkeit der Umweltgesetzgebung – von den geologischen Gegebenheiten der Lagerstätten bestimmt. Beispielsweise zeigt der Vergleich der ökologischen Rucksäcke unterschiedlicher Metalle große Unterschiede, die auf die Metallgehalte in den Erzen und auf die Abbau- und Extraktionsverfahren (z.B. mehr Abraum bei Tagebau gegenüber Tiefbau, unterschiedliche Auslaugverfahren) zurückzuführen sind. Erze mit einem niedrigen Metallgehalt, wie z.B. bei der Gewinnung von Gold oder Platingruppen-Metallen, können auch bei geringen Produktionsmengen bereits zu großen Umweltbelastungen führen.

Trotz zunehmender Aufmerksamkeit, die den „seltenen“ Metallen gewidmet wird, spielen ökologische Kriterien für die Bewertung in der Debatte um die Verfügbarkeit derzeit noch eine untergeordnete Rolle. Das MaRes-Projekt kann dazu beitragen, diese Lücke zu schließen.

2.5.5 Zuspitzung geopolitischer und internationaler Konflikte in „Ressourcenkriegen“

Die Analyse der „Kritikalität“ von Rohstoffen hat gezeigt, dass für eine Beurteilung der „Rohstoffsicherheit“ bzw. „der Verwundbarkeit“ eines Landes, von Wirtschaftsräumen oder der Erde insgesamt eine Kombination von Kriterien herangezogen werden muss. Dennoch treten dabei erhebliche Bewertungsunterschiede auf. Die bisher verwendeten Kriterien unterstellen dabei eine gewisse Mess- und Planbarkeit. Selbst die Risikobewertung von Förderländern orientiert sich an der prinzipiell kalkulierbaren „Normalität“ der gesellschaftlichen und politischen Verhältnisse in vielen Förderländern. Weit unsicherer und folgenreicher für die Bewertung der Rohstoffsicherheit ist jedoch die nicht planbare Zuspitzung geopolitischer und internationaler Konflikte („Ressourcenkriege“; vgl. Klare 2002), die hier nur kurz angesprochen werden können. Bereits in den achtziger Jahren stellte eine amerikanische Studie im Rahmen des „Energy and Defense Projects“ (Federal Emergency Management Agency 1980) zwar die Energieverwundbarkeit in den Mittelpunkt, aber erstmals auch in den Zusammenhang mit weiteren „strategischen Materialien“. Mineralien und Metalle wurden aufgezählt, bei denen die Importabhängigkeit der USA besonders hoch ist: Titan, Columbium, Zinn, Beryllium, Germanium oder Platin. „Die Vereinigten Staaten importieren gegenwärtig zwischen 90 und 100 Prozent ihres Bedarfs an diesen Elementen Es ist kaum eine Übertreibung anzunehmen, dass der Westen in Bezug auf diese Rohstoffe ebenso verwundbar ist wie in Bezug auf Öl“ (Federal Emergency Management Agency 1980).

Diese These ist von der Wissenschaft inzwischen vielfach weiterentwickelt worden. Der US-Wissenschaftler Michael T. Klare hat in diesem Zusammenhang den Begriff „Ressourcenkriege“ geprägt, der eine neue Form militärischer Konflikte um knapper werdende Ressourcen beschreibt. In seinem gleichnamigen Buch stellt Klare die These auf, dass sich aus der Weltmarktkonkurrenz um wichtige Ressourcen eine „neue Landkarte globaler Konflikte“ (Klare 2002) bilden werde. Die durch den Kalten Krieg für einige Jahrzehnte verdeckte „imperiale Ordnung“ bei der Nutzung solcher Rohstoffe werde in Zukunft zu einem Faktor, der geopolitische Krisen verursachen und verschärfen werde. Klare These betrifft Ressourcen, die wie Öl, Erdgas, Wasser, seltene Mineralien (zum Beispiel Edelsteine) und andere wichtige Rohstoffe (wie etwa Edelhölzer) eine globale wirtschaftliche Bedeutung haben und strategische ökonomische Vorteile erreichen oder sichern sollen sowie auf die Basisinvestitionen und Infrastrukturen (z.B. Prozessenergie, Grundlagenchemie oder Verkehrssektor) ausgerichtet sind. Der Ersatz solcher Rohstoffe ist, wenn überhaupt, nur durch einen langfristigen und oftmals teuren Strukturwandel möglich, weil er tiefgreifende Innovationen erfordert und hohe Kosten nach sich ziehen würde.

2.5.6 Technologische Perspektiven

Bei der zusammenfassenden Bewertung der unterschiedlichen Analyseebenen und globalen Determinanten der Rohstoffproblematik zeigt sich, dass die globale Rohstoff-situation wegen der Vielfalt von zusammenwirkenden und sich teilweise wechselseitig

verstärkenden Faktoren bereits heute so prekär ist, dass das traditionelle „Arsenal“ von Maßnahmen und Politiken zur Schaffung scheinbarer „Rohstoffsicherheit“ der Problemlage nicht gerecht wird. Dieser Eindruck verstärkt sich, wenn die funktionelle und mengenmäßige Bedeutung einzelner innovationsstrategisch bedeutsamer Rohstoffen unter Gesichtspunkten der **zukünftigen Entwicklung** von Innovationen und Zukunftstechnologien mit Foresight-Methoden analysiert wird. Bei einer solchen längerfristigen Vorausschau wird deutlich, dass auch scheinbar mengenmäßig heute noch unbedeutende Rohstoffe durch die Entwicklung neuer Leittechnologien wie z.B. Dünnschichtzellen bei der Photovoltaik, Brennstoffzellen, Technologien zur Meerwasserentsalzung oder Lithium-Ionen-Akkus für die Elektromobilität einen sprunghaften Nachfragezuwachs erfahren können und – falls das Angebot damit nicht mithalten kann – zu enormen Preiseffekten und zu Innovationsblockaden werden könnten.

Reichweitenbetrachtungen für solche innovationsstrategisch bedeutsame Rohstoffe werden besonders aussagekräftig, wenn der zukünftige voraussichtliche Rohstoffbedarf für ausgewählte Zukunftstechnologien in Relation zu den heutigen Produktionskapazitäten gesetzt wird. Dieser Indikator für die **Intensität zukünftiger Nachfrageimpulse** wurde in einer Studie von FhG-ISI und IZT (Angerer et al. 2009) für 22 bedeutende Rohstoffe und für 32 ausgewählte Zukunftstechnologien durch das Verhältnis des Rohstoffbedarfs im Jahr 2030 zur Weltproduktion des Jahres 2006 geschätzt. Der Indikator erreichte dabei zum Beispiel bei Gallium den Wert 6 – das bedeutet, dass die zukünftig erwartete Nachfrage das derzeitige Angebot um das Sechsfache übersteigt. Auch bei anderen Rohstoffen liegt eine ähnliche Diskrepanz vor: Neodym 3,82, Indium 3,29, Germanium 2,44, Scandium 2,28 und Platin 1,56. Der Ausbau von Minen, die Ausweitung von Recyclingaktivitäten oder die Entwicklung von Substituten könnten Lösungsstrategien sein, soweit sie technisch und ökonomisch zu vertretbaren Kosten möglich sowie ökologisch und sozial verträglich sind. Falls dies nicht oder nicht im ausreichenden Maße gelingt, sind physische Verknappungen mit teilweise schwerwiegenden Folgen auch für die Innovationsprozesse der betreffenden Branchen und für Schlüsseltechnologien die Folge.

Starke Quasi-Monopolpositionen einzelner Länder bei abbauwürdigen Vorkommen oder bei der Förderung verstärken das Problem global begrenzter Verfügbarkeit. Über 70 Prozent der Indium-Reserven liegen zum Beispiel in China. Die Förderung von „Seltenen Erden“ wie Neodym wird mit 97 Prozent der Weltproduktion fast ausschließlich in China durchgeführt. Andere seltenen Metalle wie Tantal oder Kobalt stammen aus Konfliktregionen wie etwa der Demokratischen Republik Kongo (Angerer et al. 2009).

FhG-ISI und IZT kommen daher zur Einschätzung: „Vor diesem Hintergrund ist der sparsame Umgang mit Ressourcen sowohl unter Nachhaltigkeits- als auch unter Kosten- und Wettbewerbsgesichtspunkten eine Zukunftsaufgabe, deren Bedeutung dem Klimaschutz entspricht“ (Angerer et al. 2009, 2).

3 Ressourceneffizienz und Ressourcensicherheit

3.1 Ohne Ressourceneffizienz wird es keine Rohstoffsicherheit geben

Viele im letzten Kapitel angesprochenen Gründe sprechen eindeutig dafür, in einer vorsorgenden Rohstoffpolitik einer langfristig angelegten Strategie zur Steigerung der Ressourceneffizienz eine zentrale Rolle zuzuweisen. So können nicht nur der Verbrauch – auch „kritischer“ – Rohstoffe reduziert und Kosten gesenkt werden, sondern sich auch andere Win-Win-Konstellationen durch Ressourceneffizienzsteigerungen ergeben: Die präventive Konflikteindämmung, die Reduzierung der Importabhängigkeit und generell der außenwirtschaftlichen und außenpolitischen Verwundbarkeit lässt sich mit Umweltentlastungen und der Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit eines Wirtschaftsstandortes verbinden. Die aus ökologischen Gründen ohnehin notwendige Entkopplung von Ressourcenverbrauch und Lebensqualität kann neue ökonomische Triebkräfte freisetzen und in ein ökologisch verträglicheres und verteilungsgerechteres Wirtschaften einmünden.

3.2 Ressourceneffizienzsteigerung: Szenarien zeigen Win-Win-Situation

Auf der Basis internationaler (Shell 2008; DLR 2008) und nationaler Szenarien (Nitsch 2007) ist heute gesichertes Erkenntnis, dass die **Steigerung der Energieeffizienz** dazu beiträgt, viele Probleme eines ansonsten im Trend steigenden Energieverbrauchs leichter zu lösen. Das heißt im Ergebnis: Eine forcierte Effizienzsteigerung impliziert sinkende Importabhängigkeit, Reduzierung von Klima-, Kernenergie- und Rohstoffrisiken, Kostenentlastung für Wirtschaft, Staat und Haushalte sowie positive (qualitative) Wachstums- und Beschäftigungseffekte (vgl. BMU 2008). Allerdings muss zukünftig mehr als bisher darauf geachtet werden, dass spezifische Effizienzsteigerungen bei Prozessen, Produkten, Fahrzeugen und Gebäuden nicht über entgegenwirkende Substitutions- und Mengeneffekte – die Ökonomie spricht von Rebound-Effekten – wieder teilweise oder gänzlich zunichte gemacht werden (vgl. Herring / Sorrell 2009).

Für die energetischen Rohstoffe Öl, Erdgas und Importkohle ist unter bestimmten Annahmen (z.B. weitgehender Ausschluss von Rebound-Effekten) in einer makroökonomischen Analyse gezeigt worden (BMU 2008), dass die Reduktion des Nettoimportwertes von Energie durch Steigerung der Energieeffizienz oder durch den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien positive volkswirtschaftliche Effekte (z.B. mehr Wachstum und Beschäftigung) auslöst. Die im internationalen Vergleich relativ geringe Importquote für Energieträger der deutschen Wirtschaft würde dadurch weiter gesenkt und der Abfluss von Kapital für den Import würde durch inländische Wertschöpfung und deren positive makroökonomische Multiplikatorwirkung substituiert.

Vergleichbar differenzierte und quantifizierte Forschungsergebnisse liegen für eine Folgenabschätzung einer Strategie der forcierten Steigerung der Ressourceneffizienz noch nicht vor. Das hängt damit zusammen, dass bei nicht-energetischen Rohstoffen eine ungleich größere Vielfalt an Stoffen sowie an Substitutions- und Recyclingoptio-

nen besteht als bei Energie und dass die quantitativen wie auch qualitativen Dimensionen des Einsatzes von nicht-energetischen Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen sowohl mengen- als auch kostenseitig um mehr als eine Größenordnung bedeutsamer sind als bei Energie (vgl. Abb. 3).

Erste Ergebnisse makroökonomischer Simulationen deuten darauf hin, dass die positiven makroökonomischen Effekte der Steigerung der Materialeffizienz die der Energieeffizienz noch deutlich übertreffen könnten. Bei der Input-Output-Analyse einer linearen Einsparung von 20 Prozent der Materialkosten im verarbeitenden Gewerbe durch Meyer (2008) wurde gezeigt, dass sich unter der Bedingung einer produktivitätsorientierten Lohnsteigerung erhebliche positive Nettoeffekte für die Volkswirtschaft ergeben (vgl. auch Aachener Stiftung Kathy Beys 2005): das Wirtschaftswachstum und die Beschäftigung steigen erheblich und die Erhöhung der Materialeffizienz nähert sich dem Zielwert der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (Verdopplung bis 2020 im Vergleich zum Jahr 1994; Bundesregierung 2002). Diese Analyse wird im MaRes-Projekt weiter vertieft. Besonders bei den – gegenüber der Energieeffizienz – noch komplexeren möglichen Folgewirkungen der Steigerung der Ressourceneffizienz müssen nicht intendierte Rebound- und Mengeneffekte – also steigende Verbräuche, die durch die Kostensenkungen von Effizienzsteigerungen ausgelöst werden (vgl. Schettkat 2009; Herring / Sorrell 2009) – antizipiert und möglichst vermieden werden. Das ist ein Grund dafür, dass sich die Entwicklung nachhaltigerer Produktionsverfahren sowie ökoeffizienter Prozesse und Produkte nicht von den Determinanten des Ressourcenverbrauchs und der Entwicklung nachhaltigerer Konsummuster trennen lassen.

Ökologische Industrie- und Dienstleistungspolitik, die primär an der Steigerung der Ressourceneffizienz und der ökologischen Modernisierung des Angebots ansetzt, muss sich daher auch mit der „Ökologisierung des Konsums“ beschäftigen. Hier besteht noch erheblicher Forschungsbedarf – erste Antworten werden im MaRes-Projekt entwickelt.

3.3 Wie Ressourceneffizienzsteigerungen strategisch umgesetzt werden können

In diesem Policy Paper kann nur skizziert werden, wie eine Politik zur Steigerung der Ressourceneffizienz mit **Kernstrategien** angegangen werden kann (vgl. auch Kristof / Hennicke 2008). Warum die Breitenwirkung und Win-Win-Charakteristik solcher ressortübergreifender Kernstrategien als Grundlage und Flankierung für mehr Rohstoffsicherheit notwendig ist, wurde im Kapitel 2 im Detail begründet. Ein solcher integrativer Denkansatz verbindet nicht nur analytische Fragen der Rohstoffsicherheit und Ressourceneffizienz, sondern reduziert die Komplexität der angesprochenen Themenfelder auch auf einen gemeinsamen Handlungs- und Lösungsansatz.

Um Ressourceneffizienz konkret umzusetzen, können sehr unterschiedliche Wege genutzt werden (Ritthoff / Liedtke / Kaiser 2007; Kristof 2007; Kristof / Türk / Welfens / Walliczek 2006). **Produkte** können „von der Wiege zur Bahre und wieder zurück zur Wiege“ ressourceneffizienter als heute gestaltet werden. Vom Design über die Produk-

tion bis zur Konsumphase und ganz am Schluss der Lebensdauer beim Recycling finden sich vielfältige Ansätze, Ressourcen einzusparen. Aber auch der Blick in die **Wertschöpfungsketten** zeigt vielfältige Ansatzpunkte – von einer gemeinsamen Ressourcenverbrauchsoptimierung mit Vorlieferanten und Kunden bis zur ressourceneffizienzorientierten Gestaltung der für die Produktion aber auch die Logistik notwendigen **Infrastrukturen**. Veränderungen von Produkten, in Wertschöpfungsketten und bei Infrastrukturentscheidungen werden aber nur Realität, wenn Menschen beginnen, Systeme neu zu denken, Innovationen zu entwickeln, ihre Muster in Kopf zu überdenken und ihr Verhalten daran neu auszurichten – d.h. es bedarf einer **Veränderung in den Köpfen**. Tab. 5 fasst die unterschiedlichen Ansätze, die im folgenden noch ausführlicher vorgestellt werden, im Überblick zusammen.

Tab. 5: Optionen zur Ressourceneffizienzsteigerung im Überblick

Optionen zur Ressourceneffizienzsteigerung		
Ansatzpunkt Produktlebenszyklus	Ansatzpunkt Wertschöpfungskette	Ansatzpunkt Veränderung in den Köpfen
Ressourceneffizienzoptimierte Produktgestaltung: Produktdesign und Produkt-Dienstleistungs-Systeme	Ressourceneffizienzorientierte Gestaltung von Wertschöpfungsketten	Veränderung der Produktionsmuster
Rohstoff- und Werkstoffauswahl / neue Werkstoffe und nachwachsende Rohstoffe	Ressourceneffizienzoptimierte Infrastruktur Lösungen	Ressourceneffizienzorientierte ganzheitliche Managementsysteme (inkl. Informationssysteme)
Ressourceneffizienzoptimierte Produktionssysteme / Querschnittstechnologien		Forschung & Entwicklung / Forschungstransfer / Lernprozesse
Ressourceneffizienzoptimierte Produktnutzungsphase / Langlebige Produkte		Veränderung der Konsummuster
Weiter-/Wieder-/Umnutzung in Kaskadennutzungssystemen / Recycling		

Quelle: Kristof, 2007; eigene Weiterentwicklung

3.3.1 Ansatzpunkt Produktlebenszyklus

Die **Produktgestaltung**, d.h. das Produktdesign bzw. die Gestaltung von Produkt-Dienstleistungs-Systemen, ist von erheblicher Bedeutung für die Ressourceneffizienz in der Produktion und in der Konsumphase, aber auch dafür, ob die Produkte repariert, mehrfach weiter- oder umgenutzt sowie recycelt werden können. Ausgehend von den Kundenwünschen kann schon in der Konzeptions-, Planungs- und Entwurfsphase nach möglichst entmaterialisierten Lösungen für den gesamten Lebenszyklus gesucht werden. Die im Designprozess dabei am „besten“ erscheinende Lösung wird dann mit gängigen Marktprodukten in Funktionalität und Wirtschaftlichkeit verglichen und bei positiver Bewertung realisiert. Auch beim Re-Design schon etablierter Produkte können erhebliche Effizienzsteigerungen erreicht werden. Auch die Verbindung von Pro-

dukten und Dienstleistungen (z.B. Sharing- oder Contracting-Lösungen) bieten oft hohe Potentiale zur Ressourceneffizienzsteigerung.

Bei der Produktgestaltung spielt auch die **Auswahl der Roh- und Werkstoffe** eine wesentliche Rolle. Die Materialauswahl hat einen wesentlichen Einfluss auf den Ressourcenverbrauch von Produkten – auch durch die mit den Werkstoffen verbundenen Gestaltungs- und Konstruktionsmöglichkeiten, in der Produktherstellung sowie bei der Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit der Produkte und Werkstoffe. Damit keine kontraproduktiven Lösungen gewählt werden (z.B. nicht-nachhaltige Flächennutzung durch nachwachsende Rohstoffe), muss das Ziel Ressourceneffizienzsteigerung als zusätzliches Kriterium nicht nur in der Produktgestaltung sondern auch bei der Materialauswahl mit berücksichtigt werden. Dabei muss man sich klarmachen, dass unterschiedliche Roh- und Werkstoffe sehr unterschiedliche Materialintensitäten inkl. der Materialrucksäcke haben und auch sehr unterschiedliche Umweltwirkungen.

Neben dem Ersatz „kritischer“ oder teurer Ressourcen aus Kostengründen stehen bei der Materialauswahl auch an die Kundenwünsche angepasste Lösungen im Zentrum. Neue Werkstoffe und nachwachsende Rohstoffe können ressourcensparende Alternativen bieten, die sich durch verbesserte Anwendungseigenschaften (z.B. höhere Korrosionsbeständigkeit oder Festigkeit) auszeichnen oder durch eine verbesserte Verarbeitbarkeit verbunden mit neuen Konstruktionsmöglichkeiten. Teilweise werden schon heute für bestimmte Produkte bzw. Konstruktionen maßgeschneiderte Werkstoffe entwickelt (z.B. neue Stahlsorten für den Automobilbau, die eine Gewichtsreduktion der Karosserie um 25 Prozent ermöglicht haben). Weitere Einsparungen können durch eine werkstoffgerechte Konstruktion erreicht werden (z.B. kraftflussgerechte Gestaltung von Bauteilen mit genau darauf abgestimmten Werkstoffen).

Die Entwicklung **ressourceneffizienzoptimierter Produktionssysteme** und der gezielte Einsatz von **Querschnittstechnologien** zur Ressourceneffizienzsteigerung sind die zentralen Ansatzpunkte für die Optimierung der Produktionsprozesse. Zur Auswahl des ressourceneffizientesten Produktions- oder Fertigungsverfahrens sind Information über mögliche Varianten und Sensitivitätsanalysen notwendig, um die große Anzahl alternativer Produktionsprozess- und -ablaufoptionen im Zusammenspiel mit den jeweiligen Werkstoffen und in Abhängigkeit von den konstruktiven Lösungen und Produktionsmengen beurteilen zu können. Ziel ist dabei, ressourceneffizienzoptimierte Produktionssysteme zu entwickeln. Dies ist eine komplexe, aber lohnende Aufgabe, die – auch aufgrund der derzeit dominierenden Fokussierung auf wenige Werkstoffe – ein großes Potential bietet.

Im Bereich Energieeffizienz können allein durch typische Querschnittstechnologien (wie z.B. Pumpen / Hydraulischer Abgleich, Druckluft, Motoren, Wärmedämmung) 17,8 Prozent des gesamten Energieverbrauch mit Nettokostensenkungen eingespart werden (Thomas / Barthel / Bunse / Irrek 2006). Die Analyse der Potentiale wichtiger Querschnittstechnologien zur Ressourceneffizienzsteigerung – d.h. auch für biotische und abiotische Materialien, Wasser und Fläche – steht noch aus. Im Rahmen des MaRes-Projektes werden in Arbeitspaket 1 dazu erste Ergebnisse erarbeitet (<http://ressourcen.wupperinst.org>).

Langlebige Produkte sind vorteilhaft, wenn sie in der Nutzungsphase keine hohen Energie-, Wasser- oder Materialverbräuche haben und eine Kompatibilität mit den Werkstoffkreisläufen gewährleistet ist. Wichtig ist außerdem nicht eine möglichst hohe potentielle Lebensdauer sondern eine möglichst lange Nutzungsdauer. Das ist vor allem bei sich dynamisch entwickelnden Anwendungsfeldern eine deutliche Einschränkung (z.B. Informationstechniken). Auch für nicht so langlebige Produkte sollte der Ressourcenverbrauch beim Konsum oder der Nutzung minimiert werden (**Ressourceneffizienzoptimierte Produktnutzungsphase**) bzw. eine ressourcensparende **Wiederverwendung**, ein **Recycling** oder eine **Verwertung in Kaskadennutzungssystemen** leicht möglich sein. Recycling, Kaskadennutzungssysteme sowie die Lebensdauer von Gütern sind Faktoren, die bereits bei der Produktgestaltung mit angelegt werden. Bei Kaskadennutzungssystemen (z.B. Gebrauchteilebörsen, Nutzung von PET-Flaschen zur Herstellung von Fleecematerialien etc.) ist es wichtig, dass nicht allein der Nutzen des Hauptproduktes im ersten Lebenszyklus optimiert wird, sondern auch weitere Nutzungszyklen bzw. die Nebenprodukte in die Entwicklung und das Design einbezogen werden.

In Europa und besonders in Deutschland gibt es bereits eine lange Recyclingtradition beispielsweise bei Metallen, Glas und Papier. Wirtschaftliches Recycling hängt von verschiedenen Faktoren ab. Nachfrage und Preise für Sekundärrohstoffe sind zunächst in die gesamtwirtschaftliche Situation eingebunden. Die mengenmäßige Verfügbarkeit von Altmateriale wird daher in Abhängigkeit dieser konjunkturellen Schwankungen sehr unterschiedlich sein. Der Abfluss von Sekundärrohstoffen ins Ausland (z.B. in Form gebrauchter Elektro-/Elektronikgeräte und Fahrzeuge) sowie der illegale Export von Altgeräten und -fahrzeugen können außerdem ein großes Problem sein. Eine gleichmäßige bzw. hohe Qualität von Sekundärrohstoffen ist darüber hinaus die Grundvoraussetzung für ein – auch in Krisenzeiten – gut funktionierendes und wirtschaftliches Recycling. Die Tendenz zu größerer Werkstoffvielfalt, Maß- und Verbundwerkstoffen verringert aber die Potentiale sortenreinen Recyclings (z.B. durch stärkere Verunreinigungen oder weniger leichte Trennbarkeit). Dass auch Infrastrukturen ein maßgebliches Rohstofflager bilden, das erschlossen werden kann (Urban Mining), kommt erst schrittweise in die Diskussion um Recycling und Kaskadennutzungssysteme. Dass der Sektor Bauleistungen in Deutschland mit 18 Prozent des direkten und indirekten Ressourcenverbrauchs im Jahr 2000 mit deutlichem Abstand der ressourcenintensivste Sektor war, illustriert das eindrücklich (Acosta-Fernández 2007). Schätzungen zufolge sind in Deutschland derzeit ca. 50 Milliarden Tonnen mineralische Baustoffe im anthropogenen Lager (Wohngebäude und Nichtwohngebäude, wie Gewerbe- und Infrastrukturgebäude) gebunden – allein in Wohngebäuden sind ca. 10,5 Milliarden Tonnen mineralische Baustoffe, ca. 220 Millionen Tonnen Holz und ca. 100 Millionen Tonnen Metalle verbaut (Öko-Institut 2007). Im MaRes Projekt werden derzeit die in den öffentlichen Infrastrukturen (Verkehrsnetze, Trink-/Abwassernetze, Kommunikations- und Energieinfrastrukturen) gebundenen Ressourcenbestände erhoben.

3.3.2 Ansatzpunkt Wertschöpfungskette

Die eben vorgestellten Optionen können eine höhere Wirkung erzielen, wenn über die Grenzen des einzelnen Unternehmens und des einzelnen Konsumenten hinweg optimiert wird – mit dem Ziel einer **ressourceneffizienzorientierten Gestaltung von Wertschöpfungsketten**, die von der Förderung der Rohstoffe über die gesamte Lieferantenkette bis zu den Konsumenten und der Sekundärrohstoffwirtschaft reicht.

Den **ressourceneffizienzoptimierten Infrastrukturlösungen** sollte außerdem eine größere Aufmerksamkeit gewidmet werden, da sie für langfristige Festlegungen in den Produktions-, Siedlungs- und Versorgungsstrukturen und den mit ihnen verbundenen Ressourcenverbräuchen sorgen und – wie oben beschrieben – bei der Erstellung aber oft auch beim Unterhalt sehr ressourcenintensiv sind. Einfluss auf den Ressourcenverbrauch kann man vor allem bei der Errichtung und Erneuerung von Infrastrukturen nehmen („Windows of Opportunity“).

3.3.3 Ansatzpunkt Veränderung in den Köpfen

Veränderungen werden aber nur erzielt werden können, wenn es zu einer Veränderung in den Köpfen kommt – sei es im Management, in der Produktentwicklung, in der Konstruktion aber auch bei den Verbrauchern.

Veränderung der Produktionsmuster (z.B. Orientierung an der Leitidee „Tonnen und Kilowattstunden arbeitslos machen statt Menschen“; Denken in Werkstoffkombinationen beispielsweise über eine Verbindung von Metalle, Kunststoffe oder Keramik statt die einseitige Fokussierung auf einen Werkstoffe, Entwicklung von modularen Produktsystemen und innovativen Produkt-Dienstleistungspaketen) sind dabei im Bereich Unternehmen genauso zu nennen wie **ressourceneffizienzorientierte ganzheitliche Managementsysteme**, die verknüpft sind mit entsprechenden Informationssystemen. Sie ermöglichen eine gezielte Steigerung der Ressourceneffizienz über die Darstellung der Material- und Energieflüsse sowie der Umweltauswirkungen aber auch über die Identifizierung von Verbesserungspotentialen für eine systematische und kontinuierliche Steigerung der Ressourceneffizienz.

Die **Veränderung der Konsummuster** ist nicht nur für die privaten Haushalte relevant, sondern auch für die Beschaffungsstellen der öffentlichen Hand und anderer gesellschaftlicher Akteure. Kriterien, nach denen beschafft und gekauft wird (z.B. Einkaufsentscheidung orientiert an Ressourcenverbräuchen wie beispielsweise auf Basis des EU-Labels für Weiße Ware, Kauf von Multifunktionsgeräten oder reparaturfreundlichen Produkten), bestimmen den Ressourcenverbrauch, aber auch die Art des Konsums bzw. der Nutzung dauerhafter Güter (z.B. Sharinglösungen, Nutzung von Reparaturdienstleistungen, Minimierung der Ressourcenverbräuche durch angepasstes Nutzerverhalten).

Eine gezielt am Thema Ressourceneffizienz ansetzende Forschung und Entwicklung, daran ansetzende Anstrengungen zum Forschungstransfer, aber auch Lern- und Qualifizierungsprozesse (Learning by doing, schulische, universitäre und berufliche / be-

triebliche Aus-, Fort- und Weiterbildung) erweitern das **Wissen** zu ressourceneffizienten Lösungen und die **Handlungskompetenzen** durch die Methoden für die gezielte Gestaltung von Veränderungsprozessen zur Ressourceneffizienzsteigerung. Die gezielte Unterstützung von Lernprozessen und die Wissensvermittlung sind wichtig, damit der Transfer von Forschungsergebnissen in die betriebliche Praxis und in die Produktgestaltung schneller verläuft und damit viele Potentiale nicht ungenutzt bleiben.

4 Schlussfolgerungen für die Politik

Auch wenn der technische Fortschritt eine umfassende physische Verknappung („Grenzen des Wachstums“) bei Rohstoffen bisher verhindert hat und in naher Zukunft – von wenigen Ausnahmen abgesehen – unwahrscheinlich macht, bleibt angesichts des zu erwartenden Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums auf einem begrenzten Erdball die fundamentale komplexe Frage auf der Tagesordnung, wie die folgenden wichtigen Ressourcenprobleme anzugehen sind:

- Begrenzung der Ressourcenknappheit, die bei „kritischen“ Ressourcen zu großen wirtschaftlichen Verwerfungen führen sowie Auslöser aber auch Folgewirkungen von Ressourcenkonflikten sein kann, und damit eine präventive Eingrenzung sozialer nationaler und internationaler Spannungen
- Abbau der Importabhängigkeit mit der damit verbundenen wirtschaftlichen und politischen „Erpressbarkeit“ (z.B. Durchleitung der Gaslieferungen von Russland durch die Ukraine nach Europa),
- Dämpfung der negativen volkswirtschaftlichen und sozialen Effekte von globalen Preissteigerungen sowie der Preisfluktuation,
- Eindämmung von Umweltproblemen, die durch übermäßige Ressourcenverbräuche entstehen und die die Senken überstrapazieren, sowie
- der mit der Ressourcennutzung verbundenen sozialen Probleme (z.B. Kinderarbeit in Minen oder gesundheitlich belastende Arbeitsbedingungen) und
- ein Beitrag zu mehr Verteilungsgerechtigkeit (z.B. Nord-Süd oder zwischen den Generationen).

Einige Grenzen des Wachstums sind schon heute – besonders in Hinblick auf die Senkenproblematik, aber auch bei einigen Rohstoffen – überschritten. In ökonomischer und säkularer Hinsicht ist Naturkapital knapp und wird zweifellos in Relation zu den weiter steigenden Ansprüchen einer wachsenden Weltbevölkerung noch knapper werden. Dies wird, auch im Vergleich zur früheren Innovationszyklen, eine völlig neue Qualität und Quantität von Basisinnovationen (GreenTech) eines natursparenden technischen Fortschritts auslösen. Für den Standort Deutschland ist daher nicht nur die „Verfügbarkeits- und Anwenderseite“ insbesondere aus dem Blickwinkel der rohstoffintensiven Industrien wichtig, sondern auch die „Herstellerseite“ der GreenTech-Branchen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Technische und soziale Innovationen zur Entkopplung von Lebensqualität und Naturverbrauch sind aufgrund der weltweiten

Knaptheiten beim Naturkapital nicht nur einer der Megatrends der Zukunft sondern auch Treiber für rasch wachsende Leitmärkte zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Je ressourceneffizienter produziert und je mehr Spitzentechnologie hierfür für die nationalen und Weltmärkte entwickelt wird, desto mehr sichert dies auch die Wettbewerbsfähigkeit eines Wirtschaftsstandorts aber auch Beschäftigung und trägt so auch zur Rohstoffsicherheit bei. Wegen dieses Doppeleffekts – Innovationsmotor und Beitrag zur Ressourcensicherheit – ist die Steigerung der Ressourceneffizienz neben weiteren Optionen (Bundesregierung 2008) auch integraler Bestandteil einer vorsorgenden Rohstoffpolitik. Die technischen und organisatorischen Optionen zur Steigerung der Ressourceneffizienz sind vorhanden und die internationale Notwendigkeit, Ressourcen effizient zu nutzen, wird vor dem Hintergrund der Debatte zur Rohstoffsicherheit mehr als deutlich.

Die Politik ist deshalb gefordert, die Rahmenbedingungen so zu setzen, dass Rohstoffsicherheitsfragen die wirtschaftliche Entwicklung nicht gefährden und auch in den sozialen und ökologischen Dimensionen wichtige Probleme gelöst werden (z.B. Kinderarbeit in Minen, massive ökologische Probleme in den Förderländern). Ressourceneffizienzpolitik ist dazu ein wesentlicher Weg, die Probleme deutlich zu entschärfen, da etwa die Rohstoffimporte sinken, der verstärkte Einsatz von Sekundärrohstoffen zu geringeren Umwelteffekten führen kann oder auch die Wirtschaft durch die Erschließung der Kostensenkungspotentiale durch einen verminderten Materialeinsatz wettbewerbsfähiger wird und damit Arbeitsplätze erhalten oder geschaffen werden können. Der Politik bieten sich fünf Kernstrategien zur Steigerung der Ressourceneffizienz (Krištof / Hennicke 2008):

- Kernstrategie **„Nachhaltige Zukunftsmärkte – Innovationen eine Richtung geben“**: Ohne anspruchsvolle Ressourceneffizienzziele und daran ausgerichtete Anreizsysteme (z.B. Subventionen abschaffen, die Ressourcenverbrauch steigern) wird es weder zu einer verstärkten Umsetzung von Ressourceneffizienzpotentialen kommen, noch können die Potentiale dazu ausgelotet werden. An den Ressourceneffizienzzielen und Potentialen kann und sollte die F&E- und die Innovationsförderung ausgerichtet werden.
- Kernstrategie **„Starke Institutionen – Schlüssel für eine erfolgreiche Diffusion“**: Erfolgreiche Umsetzung braucht „Kümmerer“. Deshalb ist es sinnvoll, bestehende Institutionen (wie z.B. die Deutsche Materialeffizienzagentur) zu stärken und neue (z.B. auf regionaler oder Länderebene) ins Leben zu rufen. Aber auch die einschlägigen Berater/-innen sind wesentliche Akteure zur Ressourceneffizienzsteigerung. Ihren Kreis auszubauen und sie zu qualifizieren, kann ihre Wirkung maßgeblich steigern. Auch die „Selbsthilfe“ von Unternehmen über Unternehmensnetzwerke in Regionen und Branchen hat sich als sehr effektiv erwiesen und sollte weiter gefördert werden.
- Kernstrategie **„Ressourceneffiziente Produkte“**: Vorreiter, die besonders ressourceneffiziente Produkte entwickelt haben, zu fördern und sichtbar zu machen (z.B. Kennzeichnungspflichten wie bei Weiße Ware Geräten – Stichwort A++ Kühlschrank) hat sich als genauso erfolgreich herausgestellt, wie Strategien, die den

Marktdurchschnitt auf eine Ressourceneffizienzsteigerung ausrichten (z.B. EU-Ökodesign-Richtlinie, die jetzt den Schwerpunkt bei Energie hat, möglichst schnell auf alle Ressourcen ausweiten) oder das „Dirty End“ vom Markt nehmen (z.B. Mindeststandards).

- Kernstrategie **„Der Staat als Nachfrager – Vorbild und Marktmacht“**: Die staatliche Nachfrage kann Märkte verändern, wenn Ressourceneffizienz als Standardbeschaffungskriterium etabliert wird und über Bündelungslösungen die Nachfrage nach hoch-effizienten Lösungen steigt (d.h. durch einen sicheren Mindestabsatz sinkt das Risiko der Produktentwicklung für die Unternehmen – Technology Procurement). Der Staat hat aber auch eine Vorbildfunktion, der er durch ehrgeizige Ressourceneffizienzziele bei der öffentlichen Beschaffung und übertragbare erfolgreiche ressourceneffizienzorientierte Beschaffungsroutinen gerecht werden kann.
- Kernstrategie **„Veränderung in den Köpfen“**: Alle anderen Kernstrategien werden zum Scheitern verurteilt sein, wenn sie nicht flankiert werden durch die Veränderung in den Köpfen. Dabei geht es um drei Aspekte: das Thema in die Köpfe bringen (z.B. Kampagnen, Medien einbinden, Netzwerk Ressourceneffizienz unterstützen), Qualifikationen schaffen (z.B. in Schule und beruflicher Aus- und Weiterbildung oder in einer virtuellen Ressourcenuniversität) und Erfolge sichtbar machen (z.B. Good Practice, Materialeffizienzpreis bekannter machen).

Die Steigerung der Ressourceneffizienz ist die wichtigste nationale und in der Breite wirksame Strategie für mehr Rohstoffsicherheit, sie bietet aber auch Win-Win-Chancen nicht nur für Umwelt und Arbeit, sondern auch über eine ökonomische und geopolitische Krisenprävention. Volkswirtschaften, Branchen aber auch einzelne Unternehmen können als Vorreiter die Chance nutzen, den nachhaltigen, rasch wachsenden Zukunftsmarkt Ressourceneffizienz auch auf den Exportmärkten zu erschließen. Über Technologie- und Know-how-Transfer sowie über eine gezielte Exportförderung und Entwicklungspartnerschaften können im Sinne von „leapfrogging“ Ressourceneffizienzlösungen global verbreitet und das Thema weltweit auf die Agenda gesetzt werden.

5 Literatur

- Aachener Stiftung Kathy Beys (2005): Ressourcenproduktivität als Chance, ein langfristiges Konjunkturprogramm für Deutschland, Norderstedt: Book on Demand GmbH
- Acosta-Fernández, J. (2007): Identifikation prioritärer Handlungsfelder für die Erhöhung der gesamtwirtschaftlichen Ressourcenproduktivität in Deutschland; Projektergebnisse im Rahmen des Projekts „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“; www.ressourcenproduktivitaet.de
- ADL [Arthur D. Little GmbH] / Wuppertal Institut / FhG-ISI [Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung] (2005): Studie zur Konzeption eines Programms für die Steigerung der Materialeffizienz in Mittelständischen Unternehmen, Abschlussbericht; www.materialeffizienz.de/fachinformationen/vorbereitung-des-programms
- Angerer, Gerhard et al. (2009): Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage; Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag
- Bardt, Hubertus (2008): Sichere Energie- und Rohstoffversorgung, Herausforderung für Politik und Wirtschaft? Köln: Deutscher Instituts-Verlag
- BDI [Bundesverband der deutschen Industrie e. V.] (Hg.) (2007): Rohstoffsicherheit – Anforderungen an Industrie und Politik, Ergebnisbericht der BDI-Präsidialgruppe “Internationale Rohstofffragen”; www.bdi-online.de/Dokumente/Auenwirtschaftspolitik/Rohstoffbericht.pdf (16.3.2007)
- BGR [Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe] (2007): Zertifizierte Handelsketten im Bereich mineralischer Rohstoffe. Projektstudie; www.bgr.bund.de/nr_330806/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Studie_Zertifizierte_Handelsketten.templateId=raw.property=publicationFile.pdf/Studie_Zertifizierte_Handelsketten.pdf (4.2007)
- BGR [Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe] (2008): Bundesrepublik Deutschland Rohstoffsituation 2007; Stuttgart: Schweizerbart
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2007): GreenTech Made in Germany. Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland; München: Vahlen
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2008): Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland. Studie im Auftrag des BMU, Endbericht; www.klimainvest.net/download/endbericht.pdf
- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie] (2005): Bericht zur aktuellen rohstoffwirtschaftlichen Situation und zu möglichen rohstoffpolitischen Handlungsoptionen, Projektgruppe Rohstoffe; www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/B/bericht-zur-aktuellen-rohstoffwirtschaftlichen-situation-und-zu-moeglichen-rohstoffpolitischen-handlungsoptionen.property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf
- Bundesregierung (Hg.) (2002): Perspektiven für Deutschland: Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung; Berlin, 17.4.2002; www.nachhaltigkeitsrat.de/de/der-rat/strategie/strategie-2002/
- Bundesregierung (Hg.) (2008): Zwischenbilanz der Rohstoffaktivitäten der Bundesregierung, Schwerpunkt nichtenergetische Rohstoffe; www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/XYZ/zwischenbilanz-der-rohstoffaktivitaeten-der-bundesregierung.property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf (7.2008)

- Carpenter, Steve R. (Hg.) (2005): Ecosystems and human well-being, scenarios; findings of the Scenarios Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment; Washington, DC [u.a.]: Island Press
- Daly, Herman E. (1999): Wirtschaft jenseits von Wachstum, die Volkswirtschaftslehre nachhaltiger Entwicklung; Salzburg [u.a.]: Pustet
- demea [Deutsche Materialeffizienzagentur] (2009): Basisinformationen. Warum ist Materialeffizienz wichtig? www.materialeffizienz.de/was-ist-materialeffizienz/Basisinformationen (16.3.2009)
- DLR [Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt] / Ecofys (2008): Energy Revolution, a sustainable global energy outlook; www.dlr.de/PortaldData/1/Resources/portal_news/newsarchiv2008_5/energyrevolutionreport.pdf
- Elsner, Harald (2009): Goldgewinnung in Deutschland – Historie und Potential, commodity top news Nr. 30; www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Commodity_Top_News/Rohstoffwirtschaft/30_gold,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/30_gold.pdf (16.2.2009)
- Enquete-Kommission (1998): Konzept Nachhaltigkeit: vom Leitbild zur Umsetzung; Abschlußbericht der Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt – Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung" des 13. Dt. Bundestages; Bonn: Economica Verlag
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1980): Energy and Defense Project: Dispersed, decentralized and renewable energy sources: alternatives to national vulnerability and war; Washington
- National Research Council (2008): Defining critical materials; Präsentation beim International Wuppertal Colloquium: „Sustainable Growth, Resource Productivity and Sustainable Industrial Policy – Recent Findings, new Approaches for Strategies and Policies; Universität Wuppertal 17. – 19.09.2008
- Herring, Horace / Sorrell, Steve (Hg.) (2009): Energy efficiency and sustainable consumption, the rebound effect; Basingstoke [u.a.]: Palgrave Macmillan
- IEA [International Energy Agency] (2008): World energy outlook 2008; Paris: Internat. Energy Agency [u.a.]
- IW [Institut der deutschen Wirtschaft Köln] (Hg.) (2008): Rohstoffversorgung – Politik verursacht Engpässe. Pressemitteilung Nr. 36/2008; www.presseportal.de/pm/51902/1252207/institut_der_deutschen_wirtschaft_koeln_iw_koeln?search=in.Pressemappe (28.8.2008)
- Jochem, Eberhard (Hg.) (2004): Steps towards a sustainable development, a white book for R&D of energy-efficient technologies, Zürich [u.a.]: Centre for Energy Policy and Economics [u.a.]
- Klare, Michael T. (2002): Resource Wars: The New Landscape of Global Conflict; New York: Holt
- Kristof, Kora (2007): Hot Spots und zentrale Ansatzpunkte zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Ergebnispapier – Arbeitspaket 2.5: "Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung", ein Projekt im Auftrag des BMBF; Wuppertal: Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie, www.ressourcenproduktivitaet.de

- Kristof, Kora / Hennicke, Peter (2008): Impulsprogramm Ressourceneffizienz: Innovationen und wirtschaftlicher Modernisierung eine Richtung geben; MaRes-Policy Paper als Input für die 3. Innovationskonferenz „Faktor X: Eine Dritte industrielle Revolution“ 22.10.2008 in Berlin, <http://ressourcen.wupperinst.org>
- Kristof, Kora / Türk, Volker / Welfens, Jola / Walliczek, Katharina (2006): Ressourceneffizienzsteigerungen durch organisatorische und institutionelle Innovationen; Projektergebnisse im Rahmen des Projekts „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“. Wuppertal: Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie, www.ressourcenproduktivitaet.de
- Lehner, Franz / Schmidt-Bleek, Friedrich (1999): Die Wachstumsmaschine, der ökonomische Charme der Ökologie; München: Droemer
- Liedtke, Maren / Vasters, Jürgen (2008): Renaissance des deutschen Kupferschieferbergbaus? Commodity top news Nr. 29; www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Commodity_Top_News/Rohstoffwirtschaft/29_kupferschieferbergbau,templateld=raw,property=publicationFile.pdf/29_kupferschieferbergbau.pdf (06.8.2008)
- London Metal Exchange (2009): Non-ferrous Metals; www.lme.co.uk/non-ferrous/index.asp
- Matthes, Felix C. / Ziesing, Hans-Joachim (2005): Sicherheit der Rohstoffversorgung – eine politische Herausforderung?! Kurzstudie für die Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen; www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Rohstoffreserven/DIW_Gruene_Rohstoffversorgung%200205.pdf (2.2005)
- McKinsey Global Institut (2009): Advertising the next energy crisis: The demand challenge; MGI report
- Meadows (Hg.) (1972): Die Grenzen des Wachstums, Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit; Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt
- Meyer, Bernd (2008): Wie muss die Wirtschaft umgebaut werden? Perspektiven einer nachhaltigen Entwicklung, Frankfurt am Main: Fischer-Taschenbuch-Verlag
- National Research Council (2008): Minerals, critical minerals, and the U.S. economy; Washington, DC: National Academies Press
- Nitsch, Joachim (2007): Leitstudie 2007 „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“, Aktualisierung und Neubewertung bis zu den Jahren 2020 und 2030 mit Ausblick bis 2050; Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- Öko-Institut (Hg.) (2007): Ressourcenfieber – Mit kühlem Kopf zu nachhaltigen Lösungen; Standpunkt Öko-Institut; www.oeko.de/oekodoc/600/2007-146-de.pdf
- Ritthoff, Michael / Liedtke, Christa / Kaiser, Claudia (2007): Technologien zur Ressourceneffizienzsteigerung: Hot Spots und Ansatzpunkte; Projektergebnisse im Rahmen des Projekts „Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung“. Wuppertal: Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie, www.ressourcenproduktivitaet.de
- RWI [Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung e. V.] (2005): Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen, Endbericht; Hannover [u.a.]: Bundesanst. für Geowissenschaften und Rohstoffe [u.a.]
- Schettkat, Ronald (2009): Analyzing rebound effects; Wuppertal: Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie

- Schmidt-Bleek, Friedrich (Hg.) (1998): MAIA: Einführung in die Material-Intensitäts-Analyse nach dem MIPS-Konzept; Berlin [u.a.]: Birkhäuser
- Schütz, Helmut / Moll, Stephan / Bringezu, Stefan (2003): Globalisierung und die Verlagerung von Umweltbelastungen, die Stoffströme des Handels der Europäischen Union; Wuppertal: Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie
- Shell (2008): Shell energy scenarios to 2050, www.shell.com/static/de-de/downloads/news_and_library/publications/2008/shell_energy_scenarios_2050_2008.pdf
- Stanzl, Jochen (2009): Morgan Stanley: Globaler Ölausblick 2009. Godmode Trader, www.godmode-trader.de/de/rohstoff-nachricht/Morgan-Stanley-Globaler-OEausblick-2009-Der-Konjunkturmotor-auser-Betrie,i133978,a1151773,c217.html (04.02.2009)
- Statistisches Bundesamt (2008a): Statistisches Jahrbuch 2008; Wiesbaden; [www-ec.destatis.de/csp/shop/sfg/bpm.html.cms.cBroker.cls?cmspath=struktur.vollanzeige.csp&ID=1022321](http://www.ec.destatis.de/csp/shop/sfg/bpm.html.cms.cBroker.cls?cmspath=struktur.vollanzeige.csp&ID=1022321)
- Statistisches Bundesamt (2008b): Kostenstruktur der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes Fachserie 4 Reihe 4.3, versch. Jahrgänge; www.destatis.de/jetspeed/portal/search/results.psmi
- Thomas, Stefan / Barthel, Claus / Bunse, Maike / Irrek, Wolfgang (2006): Optionen und Potenziale für Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen; Kurzfassung des Endberichts; Wuppertal, Wuppertal Institut im Auftrag der E.ON AG
- UMSICHT [Fraunhofer Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik] (2008): Recycling für den Klimaschutz: Eine Studie von Fraunhofer UMSICHT und INTERSEROH zur CO₂-Einsparung durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen, www.umsicht.fraunhofer.de/publikationen/studien/Recycling_fuer_den_Klimaschutz_Broschuere.pdf (5.2008)
- Wirtschaftsvereinigung Stahl (2006): Position der Stahlindustrie zur Rohstoffpolitik. Zehn Thesen zu Handels- und Wettbewerbsverzerrungen auf den Weltrohstoffmärkten; www.stahl-online.de/wirtschaft_und_politik/unternehmen_und_maerkte/Beschaffungsmaerkte/Positionspapier%20zur%20Rohstoffpolitik.pdf (14.6.2006)
- Wittmer, Dominic / Scharp, Michael / Giegrich, Jürgen / Bringezu, Stefan (2009): MaRes AP 2: Metallische Rohstoffe, PGM und Infrastrukturen: AS 2.1 – Umweltrelevante metallische Rohstoffe; Zwischenbericht zur Phase I: Auswahl von Metallen zur vertiefenden Untersuchung (unveröffentlicht)
- Young, John E. (1993): Umweltproblem Bergbau – Strategien gegen die Ausbeutung der Erde (Mining the earth); Schwalbach/Ts.: Wochenschau-Verlag